

SKRIPSI ME-141501

**PENILAIAN RISIKO TABRAKAN KAPAL DENGAN
ANJUNGAN LEPAS PANTAI : STUDI KASUS
PEMBANGUNAN JACKET PLATFORM TELUK BINTUNI**

Muhammad Habib Chusnul Fikri
NRP. 4211 100 043

Dosen Pembimbing:
Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T, M.Sc
Kriyo Sambodho. S.T, M.Eng, Ph.D

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015



FINAL PROJECT - ME-141501

**COLLISION RISK ASSESSMENT OF VESSEL AND
OFFSHORE PLATFORM: CASE STUDY OF PLATFORM
CONSTRUCTION PROJECT AT BINTUNI BAY-WEST
PAPUA**

Muhammad Habib Chusnul Fikri
NRP. 4211 100 043

Supervisor:
Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T, M.Sc
Kriyo Sambodho. S.T, M.Eng, Ph.D

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

LEMBAR PENGESAHAN

PENILAIAN RISIKO TUBRUKAN KAPAL DENGAN PLATFORM: STUDI KASUS PEMBANGUNAN PLATFORM BARU TELUK BINTUNI PAPUA BARAT

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar Sarjana Teknik pada bidang studi Reliability,
Availability, Maintainability, dan Safety (RAMS)*

*Progam Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember*

Oleh:

MUHAMMAD HABIB CHUSNUL FIKRI
NRP. 4211100043

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan:

DR. Ir. A.A. Masroeri

M.Eng.



SURABAYA
JANUARI, 2015

***PENILAIAN RISIKO TUBRUKAN KAPAL DENGAN
PLATFORM: STUDI KASUS PEMBANGUNAN
PLATFORM BARU TELUK BINTUNI PAPUA BARAT***

Nama Mahasiswa : Muhammad Habib Chusnul Fikri
NRP : 4211100043
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ketut Buda A, ST, M.Sc
Kriyo Sambodho, M.Eng, Ph.D

Abstrak

Penelitian ini mengambil studi kasus pembangunan *jacket platform* yang akan dibangun oleh salah satu K3S yang beroperasi di Indonesia. Di teluk Bintuni tersebut, terdapat dua kilang gas dan fasilitas *liquefaction* yang beroperasi. Selain itu, terdapat pula berbagai fasilitas yang terdiri dari dua anjungan lepas pantai, jalur pipa gas, dan empat belas titik pengeboran sumur. Saat ini, K3S tersebut menginisiasi proyek pembangunan dua anjungan baru, dan satu kilang baru untuk menambah produksi gas ladang gas yang ada sekarang.

Sebagai salah satu syarat dimungkinkannya pembangunan proyek tersebut adalah risiko alur pelayaran dekat ladang gas Tangguh terhadap anjungan yang akan dibangun. Risiko tersebut akan dinilai berdasarkan tingkat konsekuensi atau dampak tabrakan terhadap *platform* dan tingkat frekuensi terjadinya tabrakan Antara kapal dan *platform*. Dalam tugas akhir ini, akan dianalisa seberapa besar risiko dampak akibat tabrakan antara kapal dan *platform*. Analisa didasarkan pada tiga hal; geometri *platform* terhadap alur pelayaran, kekuatan struktur dalam meredam energi impact dari kapal, dan kemampuan tanah dasar laut dalam membantu meredam energi tabrakan dan menahan *platform* agar tetap berdiri tegak. Dari hasil analisa tersebut, akan diketahui seberapa memungkinkan pembangunan anjungan yang baru

tersebut dengan metode tertentu yang akan dilakukan, juga jika nantinya disimpulkan bahwa akan ada langkah-langkah tertentu yang perlu dilakukan untuk mengurangi risiko terhadap alur pelayaran.

Kata Kunci: Marine Engineering, Ship Platform Collision, Teluk Bintuni, Risk Assessment, Pemodelan Abaqus

***COLLISION RISK ASSESSMENT OF VESSEL AND
PLATFORM: CASE STUDY OF PLATFORM
CONSTRUCTION PROJECT AT BINTUNI BAY – WEST
PAPUA***

Name	: Muhammad Habib Chusnul Fikri
NRP	: 4211100043
Department	: Teknik Sistem Perkapalan
Supervisors	: Prof. Dr. Ketut Buda A, ST, M.Sc Kriyo Sambodho, M.Eng, Ph.D

Abstract

One leading oil and gas company operates Tangguh gas field in Bintuni Bay, West Papua. There are also two refineries and a gas liquefaction facility operating there. In addition, the company currently has a many facilities consisting of two offshore platforms, gas pipelines, and fourteen locations of wellhead. Currently, the company initiated a project to build two new platforms, and a new refinery to increase production. As a one of requirements to issue a permit from the government of Indonesia, the risk will be assessed based on the level of consequence or impact of a collision on the platform and the level of frequency of collisions between ships and platforms. This Research describes how much risk impact due to collisions between vessels and platforms. The analysis is based on three main variables; platform geometry to the shipping channel, the strength of the structure in reducing the impact energy of the ship, and the seabed soil 's ability to absorb the impact energy of collision and hold the platform in order to remain upright. From this research, it will be evaluated whether the risk is acceptable or not, some certain steps that need to be done should risk is unacceptable.

***Keywords: Marine Engineering, Ship Platform Collision,
Bintuni Bay, Risk Assessment, Abaqus Modelling***

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rida dan rahmatNya Skripsi dengan judul “*Penilaian Risiko Tubrukan Kapal dengan Platform: Studi Kasus Pembangunan Platform Baru Teluk Bintuni Papua Barat*” ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu meskipun dengan keterbatasan waktu, pengetahuan dan pemikiran penulis. Penulis menyadari, skripsi yang ditulis bukanlah sesuatu yang instant. Hal itu merupakan buah pikir dari suatu proses yang amat panjang dan sangat menyita waktu dan tenaga.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyusunan Skripsi ini penulis telah mendapatkan dukungan dan bantuan dalam bentuk moral maupun materi dari berbagai pihak, sehingga penulis pun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, kesehatan dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Bapak saya Mohamad Djunaidi dan ibu saya Ernawaty yang telah membesarkan dan membentuk saya menjadi apa saya sekarang. Terima kasih saya memiliki kedua orang tua seperti beliau berdua karena hanya dengan dukungan beliau berdua saya dapat melanjutkan pendidikan saya hingga sekarang. Tanpa bapak dan ibu saya, mustahil saya menjadi saya yang sekarang. Begitu banyak yang telah diberikan kepada saya mulai saya lahir hingga sekarang. Pengorbanan serta kasih sayang yang tak terhitung kepada saya.

3. Kedua adik saya Farhan dan Afa yang merupakan semangat dan motivasi untuk terus berjuang.
4. Bapak Prof. DR. Ketut Buda Artana, S.T, M.Sc. selaku pembimbing pertama yang telah bersedia untuk membimbing penulis, memberikan pengarahan, motivasi serta saran dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih juga kepada beliau atas semua ilmu dan upaya yang telah diberikan kepada saya selama saya bersekolah disini. Terima kasih untuk pengalaman dan nasihat yang belum pernah penulis dapatkan sebelumnya.
5. Bapak Kriyo Sambodho, S.T, M.Eng, Ph.D. selaku dosen pembimbing kedua yang bersedia membimbing dan memberikan pengarahan kepada penulis. Terima kasih pula atas cerita-cerita motivasi dan nasihat yang pernah disampaikan.
6. Bapak A.A.B Dinariyana D.P, S.T, MES, Ph.D. selaku kepala laboratorium yang selalu memberikan semangat dan motivasi, serta sentilan-sentilan yang tidak akan terlupakan. Terima kasih pula telah menginspirasi penulis untuk mencapai titik tertinggi.
7. Happy Tsania Nistah Tarafanur, yang memberikan warna dan cerita untuk selalu disimpan dalam hati.
8. Tim penguji bidang RAMS, bapak Ir. Dwi Priyanta, MSE, bapak Dr.Eng Trika Pitana, S.T, M.Sc, dan bapak Raja Oloan Saut Gurning, S.T, M.Sc, Ph.D yang telah memberikan masukan dalam pengerjaan skripsi ini. Beberapa tahun interaksi dengan beliau membuka wawasan dan pengetahuan penulis. Lebih dari itu, ilmu dan pengalaman yang tulus diberikan di dalam kelas
9. Dosen wali penulis bapak Ir. Tony Bambang Musrijadi, PGD, merupakan dosen wali yang dikenal baik tidak hanya oleh anak didiknya sendiri, namun oleh seluruh mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan. Terima kasih atas jasa beliau yang selalu mendukung usaha penulis untuk menyelesaikan studi.

10. Rekan-rekan Ampibi'11, terima kasih atas doa dan dukungan yang diberikan. Semoga tetap kompak sampai nanti.
11. Rekan-rekan di laboratorium yang telah lulus mendahului, mas Dwi, mas Bayu, mas Halid, mas Adit keppel, mas Ghofur, mas Intan adit, mas Angga, mas Dhani, mas Aryang, cak Guntur, mas Viko, mas Simon, mas Fajar, mas Leo, mas Dhika, mbak Yolanda, mbak Ludfi, mbak Dilla, mbak Nevi yang penulis selalu ingin untuk segera menyusul. Terima kasih atas bimbingannya selama penulis menempuh studi.
12. Rekan-rekan seperjuangan Bimo, Galih, Adi, Alfin, Good, Satrio, Hayi, Pujo, Tsani, Dinny, Iqba, Kikik, Emmy, Putri Ucik, Windy, Mubarok, Annisa, Fahreza, Andre, Arif dll. Terima kasih untuk meramaikan rumah kita bersama.
13. Seluruh staf dan karyawan Teknik Sistem Perkapalan yang tulus membantu dan segala pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi yang ditulis masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan saran dan masukan yang bersifat membangun ke arah yang lebih baik demi kesempurnaan ilmu yang telah diperoleh di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca

Surabaya, Januari 2015

Daftar Isi

BAB I	PENDAHULUAN	1
1.1.	Latar Belakang.....	1
1.2.	Perumusan Masalah.....	4
1.3.	Batasan Masalah.....	5
1.4.	Tujuan Penelitian.....	5
1.5.	Manfaat.....	5
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1.	Umum	7
2.2.	Konsekuensi Tubrukan	8
2.3.	Tingkat Konsekuensi Tubrukan.....	9
2.4.	Identifikasi Bahaya	10
2.5.	Analisa Impak Energi Pada Struktur	10
2.6.	Probabilitas Tubrukan: <i>Head-on Collision</i>	12
2.7.	Probabilitas Tubrukan: <i>Drifting Vessel Collision</i> .	14
2.8.	Skenario Tubrukan dengan Pertimbangan <i>Traffic</i>	16
2.9.	Perhitungan Peluang Terjadinya Satu Kejadian ...	22
2.10.	Pemodelan Simulasi <i>Finite Element Analysis</i>	23
2.11.	Kajian Risiko (<i>Risk Assessment</i>)	25
2.12.	Upaya Pencegahan Tubrukan Kapal dan Platform	27
2.12.1.	Prosedur Darurat.....	28
2.12.2.	<i>Reporting and Follow-up</i>	29
BAB III	METODOLOGI.....	31
3.1.	Perumusan Masalah.....	31
3.2.	Pembuatan Skenario	31
3.3.	Studi Literatur.....	32
3.4.	Studi Data	33
3.5.	Penilaian Risiko dan Mitigasi.....	33
BAB IV	ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1.	Analisa Keadaan Laut Sekitar <i>Platform</i>	35
4.2.	Pemodelan Skenario Tubrukan Kapal - <i>Platform</i> .	37
4.2.1.	<i>External Passing Vessel Collision Scenario 1</i>	37
4.2.2.	<i>External Passing Vessel Collision Scenario 2</i>	39

4.2.3. <i>Internal Passing Vessel Collision Scenario 1</i>	41
4.2.4. <i>Internal Passing Vessel Collision Scenario 2</i>	43
4.2.5. <i>Drifting Collision for External Vessel Scenario 1</i>	44
4.2.6. <i>Drifting Collision for External Vessel Scenario 2</i>	46
4.2.7. <i>Drifting Collision for Internal Vessel Scenario 1</i> 48	
4.2.8. <i>Drifting Collision for Internal Vessel Scenario 2</i> 50	
4.2.9. <i>Visiting Vessel Scenario</i>	52
4.3. Perhitungan Frekuensi Skenario Tubrukan	52
4.3.1. <i>External Passing Vessel Collision Scenario 1</i>	56
4.3.2. <i>External Passing Vessel Collision Scenario 2</i>	58
4.3.3. <i>Internal Passing Vessel Collision Scenario 1</i>	61
4.3.4. <i>Internal Passing Vessel Collision Scenario 2</i>	63
4.3.5. <i>Drifting Collision for External Vessel Scenario 1</i>	66
4.3.6. <i>Drifting Collision for External Vessel Scenario 2</i>	69
4.3.7. <i>Drifting Collision for Internal Vessel Scenario 1</i>	71
4.3.8. <i>Drifting Collision for Internal Vessel Scenario 2</i> 74	
4.3.9. <i>Visiting Vessel Scenario</i>	77
4.3.10. <i>Potential Area of Water for Maneuvering</i>	78
4.4. Perhitungan Konsekuensi <i>Head-on Collision</i>	81
4.4.1. Impak Tubrukan pada <i>Platform Leg</i>	81
4.4.2. Impak Tubrukan pada <i>Platform Brace</i>	86
4.4.3. <i>Analisa Finite Element Method</i>	88
BAB V KESIMPULAN	95
5.1. <i>Peletakan Restricted Area Buoys</i>	97
5.2. <i>Platform Radar Beacon Transponders</i>	98
5.3. Perbaruan Peta Navigasi Laut Teluk Bintuni	101
DAFTAR PUSTAKA	102

Daftar Tabel

Tabel 1. 1 Produksi Minyak dan Gas Alam di Indonesia	2
Tabel 1. 2 Data tabrakan kapal dan <i>platform</i> di dunia	4
Tabel 2. 1 Data lalu lintas kapal.....	20
Tabel 4. 1 Prakiraan rata-rata gelombang air laut	36
Tabel 4. 2 Laju kegagalan untuk 376 komponen sejenis	53
Tabel 4. 3 <i>External Pass. Vessel Calculation Scenario 1</i>	58
Tabel 4. 4 <i>External Pass. Vessel Calculation Scenario 2</i>	60
Tabel 4. 5 <i>Internal Pass. Vessel Calculation Scenario 1</i>	63
Tabel 4. 6 <i>Internal Pass. Vessel Calculation Scenario 2</i>	65
Tabel 4. 7 <i>Drifting External Vessel Scenario 1</i>	68
Tabel 4. 8 <i>Drifting External Vessel Scenario 2</i>	71
Tabel 4. 9 <i>Drifting Internal Vessel Scenario 1</i>	74
Tabel 4. 10 <i>Drifting Internal Vessel Scenario 2</i>	76
Tabel 4. 11 <i>Visiting vessel frequency (MPSV)</i>	77
Tabel 4. 12 <i>Visiting vessel frequency (MPSV)</i>	78
Tabel 4. 13 Perhitungan PAWM.....	80
Tabel 4. 14 <i>Head-on Collission on Pile Leg</i>	85
Tabel 4. 15 <i>Drifting Collission on Pile Leg</i>	86
Tabel 4. 16 <i>Head-on Collission on Brace Structure</i>	88
Tabel 5. 1 <i>Collision probability</i>	95
Tabel 5. 2 <i>Summary of risk matrix</i>	96
Tabel 5. 3 <i>SOP Standby Platform Vessel</i>	100

Daftar Gambar

Gambar 1. 1 Peta Teluk Bintuni.....	3
Gambar 2. 1 Lokasi <i>platform</i> dan alur pelayaran.....	12
Gambar 2. 2 Geometri alur pelayaran dengan <i>platform</i>	15
Gambar 2. 3 <i>Drifting geometry of visiting vessel</i>	16
Gambar 2. 4 Kapal Perintis KM Sabuk Nusantara 28	17
Gambar 2.5 Arah kapal yang berisiko tubrukan	18
Gambar 2.6 <i>Fault Tree Analysis</i> untuk perhitungan frekuensi tubrukan	22
Gambar 2.7 Input material pada simulasi <i>FEA</i>	24
Gambar 2.8 Input beban gaya pada simulasi <i>FEA</i>	24
Gambar 2.9 Analisa tegangan pada simulasi <i>FEA</i>	25
Gambar 2.10 Analisa defleksi pada simulasi <i>FEA</i>	25
Gambar 2.11 <i>Risk Matrix</i>	27
Gambar 3. 1 Metodologi pengerjaan tugas akhir	34
Gambar 4. 1 Data tinggi gelombang Indonesia timur.....	36
Gambar 4. 2 <i>External passing vessel scenario 1</i>	38
Gambar 4. 3 <i>External passing vessel scenario 2</i>	40
Gambar 4. 4 <i>Internal passing vessel scenario 1</i>	42
Gambar 4. 5 <i>Internal passing vessel scenario 2</i>	44
Gambar 4. 6 <i>Drifting collision for external vessel scenario 1</i>	46
Gambar 4. 7 <i>Drifting collision for external vessel scenario 2</i>	48
Gambar 4. 8 <i>Drifting collision for internal vessel scenario 1</i>	49
Gambar 4. 9 <i>Drifting collision for internal vessel scenario 2</i>	51
Gambar 4. 10 <i>Fault tree analysis for external passing vessel scenario 1</i>	56
Gambar 4. 11 <i>Fault tree analysis for external passing vessel scenario 2</i>	59
Gambar 4. 12 <i>Fault tree analysis for internal passing vessel scenario 1</i>	61

Gambar 4. 13 <i>Fault tree analysis for internal passing vessel scenario 2</i>	64
Gambar 4. 14 <i>Fault tree analysis for drifting external vessel scenario 1</i>	67
Gambar 4. 15 <i>Fault tree analysis for drifting external vessel scenario 2</i>	69
Gambar 4. 16 <i>Fault tree analysis for drifting internal vessel scenario 1</i>	72
Gambar 4. 17 <i>Fault tree analysis for drifting internal vessel scenario 2</i>	75
Gambar 4. 18 <i>Platform Design</i>	79
Gambar 4. 19 <i>Platform Design</i>	82
Gambar 4. 20 <i>Model of colliding object</i>	89
Gambar 4. 21 <i>Pemodelan tubrukan</i>	90
Gambar 4. 22 <i>Proses meshing</i>	91
Gambar 4. 23 <i>Model impak energi 7.42 MJ</i>	91
Gambar 4. 24 <i>Model impak energi 66.77 MJ</i>	92
Gambar 4. 25 <i>Model impak energi 185.47 MJ</i>	92
Gambar 4. 26 <i>Model impak energi 363.52 MJ</i>	93
Gambar 4. 27 <i>Model impak energi 741.87 MJ</i>	93
Gambar 4. 28 <i>Grafik impak energy vs dent pada platform leg</i>	94
Gambar 5. 1 <i>Radar beacon</i>	99
Gambar 5. 2 <i>Standby platform vessel</i>	101
Gambar 5. 3 <i>Update peta navigasi</i>	101

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Semakin menipisnya cadangan minyak bumi dunia membuat manusia mencari energi alternatif sebagai pengganti minyak bumi. Gas alam merupakan salah satu sumber energi alternatif yang mampu menggantikan minyak bumi. Pemerintah Indonesia menanggapi dengan melakukan kebijakan untuk membatasi penggunaan minyak bumi dan beralih ke gas alam. Gas bumi relatif lebih bersih jika dibanding sumber energi lainnya.

Terdapat banyak sekali variasi pemanfaatan gas alam. Gas alam dapat dimanfaatkan sebagai sebagai bahan bakar, antara lain sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Gas/Uap, bahan bakar industri ringan, menengah dan berat, bahan bakar kendaraan bermotor, sebagai gas kota untuk kebutuhan rumah tangga hotel, restoran dan sebagainya. Selain itu, gas alam juga dimanfaatkan sebagai komoditas energi untuk ekspor, yakni *Liquefied Natural Gas* (LNG)

Gas merupakan salah satu sumber energi alternatif yang layak diperhitungkan, mengingat kenyataan bahwa cadangan penggunaan sumber energi alternatif ini meningkat sejalan dengan perkembangan industri yang terjadi di berbagai daerah. Peningkatan ini didukung oleh beberapa fakta, diantaranya gas relatif lebih murah terutama jika dibandingkan dengan minyak atau batu bara, dan yang utama karena Indonesia mempunyai cadangan gas yang melimpah.

Permintaan gas alam di Indonesia menunjukkan peningkatan di setiap tahunnya. Peningkatan jumlah kebutuhan gas alam berkorelasi positif dengan semakin luasnya penggunaan gas alam untuk kebutuhan dan bahan

baku industri, maupun untuk keperluan rumah tangga. Adanya potensi gas alam ini mendorong pemerintah Indonesia untuk melakukan pembangunan infrastruktur, melalui pembangunan kilang gas dan eksplorasi cadangan gas yang potensial di Indonesia

Tabel 1. 1 Produksi Minyak dan Gas Alam di Indonesia
p

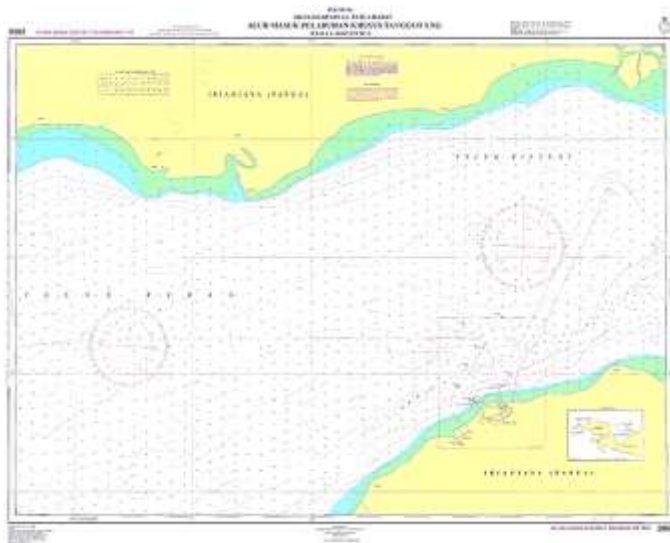
Tahun	Minyak Mentah (barel)	Kondensat (barel)	Gas Alam (MMscf)
1996	485573.80	63074.50	3164016.20
1997	484340.60	59412.00	3166034.90
1998	480109.70	54782.30	2978851.90
1999	440461.60	54181.40	3068349.10
2000	434368.80	50024.50	2845532.90
2001	432588.00	47528.10	3765828.50
2002	351949.60	45358.90	2289373.90
2003	339100.00	44600.00	2142605.00
2004	354351.90	50641.00	3026069.30
2005	341202.60	46450.90	2985341.00
2006	313037.20	44440.20	2948021.60
2007	305137.40	43210.60	2805540.30
2008	314221.70	44497.00	2790988.00
2009	301663.40	44649.60	2887892.20
2010	300923.30	43964.70	3407592.30
2011	289899.00	39350.30	3256378.90
2012	279412.10	35253.80	2982753.50

(Sumber: www.bps.go.id)

Perkembangan penggunaan gas alam selalu mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Salah satu keuntungan dari penggunaan gas alam dibanding dengan sumber energi lain adalah energi yang dihasilkan lebih efisien, jauh lebih bersih dan sangat ramah lingkungan. Di samping itu, gas alam juga mempunyai beberapa

keunggulan lain, seperti tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak korosif.

Penelitian ini mengambil studi kasus pembangunan *jacket platform* yang akan dibangun oleh salah satu KKKS (Kontraktor Kontrak Kerja Sama) yang beroperasi di Indonesia. Di Teluk Bintuni tersebut, terdapat dua kilang gas dan fasilitas *liquefaction* yang beroperasi. Selain itu, terdapat pula berbagai fasilitas yang terdiri dari dua anjungan lepas pantai, jalur pipa gas, dan empat belas titik pengeboran sumur. Saat ini, K3S tersebut menginisiasi proyek pembangunan dua anjungan baru, dan satu kilang baru untuk menambah produksi gas dari ladang gas yang ada sekarang.



Gambar 1. 1 Peta Teluk Bintuni
(Sumber: Dinas Hidro Oseanografi Indonesia, 2008)

Dengan adanya proyek pembangunan tersebut, maka akan ada lokasi bangunan baru di area Teluk Bintuni. Hal

ini tentu saja akan berpengaruh pada alur pelayaran kapal di area Teluk Bintuni. Sebagai contoh, kapal-kapal yang akan berlayar dari dan ke Pelabuhan Babo dan akan berpengaruh pada peningkatan arus kapal suplai anjungan. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk menilai risiko yang timbul akibat pengaruh pembangunan anjungan baru tersebut. Risiko yang dimaksud pada penelitian ini adalah risiko tubrukan kapal dengan anjungan, karena posisi anjungan yang secara langsung menginterupsi alur pelayaran.

Tabel 1.2 memberikan informasi berdasarkan *world offshore accident databank* data kejadian tubrukan kapal dengan *platform* di seluruh dunia pada tahun 1980-2002. Sebanyak 57 kasus tubrukan terjadi dengan kapal lewat yang aktivitasnya tidak terkait dengan *platform*. Sedangkan ada sebanyak 189 kejadian tubrukan kapal yang aktivitasnya terkait *platform* seperti *supply vessel*.

Tabel 1. 2 Data tabrakan kapal dan *platform* di dunia

Damage*	Passing Vessels		Infield Vessels	
	Number	Percent	Number	Percent
Total Loss	3	5%	1	0.5%
Severe	19	33%	16	8%
Significant	8	14%	55	29%
Minor	10	18%	65	34%
Insign./No	17	30%	52	28%
All	57	100%	189	100%

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dengan disain struktur yang ada, berapakah energi dampak maksimum yang mampu ditahan pada kejadian tubrukan antara kapal dengan *platform*?
2. Apa saja dampak tubrukan yang mungkin terjadi pada struktur tersebut?

3. Bagaimana tingkat risiko dari masing-masing skenario tubrukan?
4. Apa upaya mitigasi yang dilakukan jika risiko yang ada berada pada daerah yang tidak dapat ditolerir?

1.3. Batasan Masalah

Untuk mengecilkan ruang lingkup penelitian dan memfokuskan pada permasalahan yang akan dianalisa dalam penelitian ini, maka permasalahan akan dibatasi dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek yang dianalisis adalah anjungan lepas pantai baru yang akan dibangun di Teluk Bintuni, Papua Barat.
2. Risiko dianalisa dengan cara menghitung energi dampak maksimum yang mampu ditahan oleh platform, sehingga platform masih dapat menahan dampak tubrukan dari kemungkinan terjadinya tubrukan.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah:

1. Menentukan konsekuensi bahaya terhadap platform akibat lalu lintas kapal di area sekitar ladang gas Tangguh.
2. Menentukan frekuensi terjadinya tubrukan kapal dan platform.
3. Menentukan tingkat risiko dari masing-masing skenario yang telah ditentukan.
4. Menentukan upaya mitigasi untuk bahaya yang tidak dapat ditolerir.

1.5. Manfaat

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak. Adapun manfaat yang diperoleh antara lain:

1. Mengetahui bahaya apa yang ada karena letak alur pelayaran dan platform yang berdekatan.
2. Mengetahui dampak daripada risiko tubrukan kapal dengan platform.
3. Mengetahui rekomendasi untuk mengurangi risiko yang mungkin terjadi terhadap bahaya tersebut, dan batasan risiko yang dapat diterima.
4. Penilaian risiko yang didapat bisa digunakan sebagai pertimbangan oleh KKKS (Kontraktor Kontrak Kerja Sama) yang bersangkutan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Anjungan lepas pantai secara luas digunakan dalam industri eksplorasi minyak dan gas di seluruh dunia. Pada umumnya, anjungan lepas pantai terletak jauh di tengah laut dengan jarak belasan sampai puluhan kilometer dari tepi pantai. Anjungan lepas pantai berada pada lingkungan yang cukup ekstrim, yang mana terdapat kontak langsung dengan ombak, arus laut, dan angin sehingga dalam disain strukturnya harus memperhatikan kondisi tersebut. Salah satu risiko lain yang mungkin terjadi adalah tubrukan dengan kapal yang beroperasi di area anjungan. Hal ini adalah bahaya yang memiliki risiko tinggi. Pada kasus yang ekstrim, anjungan tersebut diharuskan menghentikan proses produksinya. Atas sebab itulah, analisa risiko terhadap tubrukan kapal sangat diperlukan untuk mengetahui kemungkinan bahaya serta dampak yang mungkin terjadi.

Energi impak yang diberikan merupakan fungsi daripada kecepatan kapal dan massa kapal. Analisa secara detil yang dilakukan (Amdahl,1983) tentang respon struktur pipa silinder menunjukkan bahwa respon struktur tersebut terhadap beban impak lateral dibagi menjadi dua tahap. Tahap awal adalah *buckling* karena gaya lateral yang diberikan, disusul oleh *denting* yang terjadi karena gaya impak yang ada. Kekuatan struktur, rentang waktu terjadinya kontak antara kapal dengan struktur saat tubrukan, serta kemampuan struktur untuk mendistribusikan beban gaya impak sangat penting dalam menganalisa permasalahan ini. Pada besaran gaya tertentu, impak yang diberikan akan cukup besar untuk menghasilkan deformasi plastis pada struktur.

2.2. Konsekuensi Tubrukan

Tumbukan adalah pertemuan dua benda yang relatif bergerak. Pada setiap jenis tumbukan berlaku hukum kekekalan momentum tetapi tidak selalu berlaku hukum kekekalan energi mekanik. Sebab disini sebagian energi mungkin diubah menjadi panas akibat tumbukan atau terjadi perubahan bentuk.

Tumbukan dapat berlangsung secara singkat dan dapat pula berlangsung lama. Pada semua proses tumbukan, benda-benda yang saling bertumbukan akan berinteraksi dengan kuat hanya selama tumbukan berlangsung walaupun ada gaya eksternal yang bekerja, besarnya akan jauh lebih kecil daripada gaya interaksi yang terjadi, dan oleh karenanya gaya tersebut diabaikan.

Energi tubrukan daripada kapal tergantung daripada energi kinetik kapal yang memiliki berat tertentu dan melaju dengan kecepatan tertentu. Persamaan energi kinetik tumbukan adalah sebagai berikut:

$$Ek = k \frac{1}{2} mv^2 \quad (2.1)$$

Dimana:

m = massa kapal

v = kecepatan kapal

k = 1.1 untuk *head-on collision*

= 1.4 untuk *drifting collision*

Ukuran daripada kapal kargo, biasanya menggunakan beberapa terminologi seperti berikut:

- ***Displacement:***

Total massa daripada kapal dan seluruh isinya. Nilainya setara dengan volume air yang dipindahkan dikali dengan massa jenisnya. Biasanya berat displasmen diukur dengan satuan berat ton.

- ***Deadweight tonnage:***

Merupakan berat komponen daripada isi kapal yang bias dipindahkan, seperti muatan, bahan bakar, awak kapal, dan perlengkapan bekal pelayaran.

- ***Lightweight tonnage:***
Massa daripada kapal kosong, sebagaimana kapal tersebut diserahkan terimakan tanpa muatan apapun diatas kapal. Konstruksi baja kapal, sistem permesinan dan perpipaian adalah komponen *lightweight tonnage*.
- ***Gross tonnage:***
Merupakan nilai yang merepresentasikan volume ruang tertutup yang ada di kapal. Nilai tersebut menentukan besaran pajak kapal.

2.3. Tingkat Konsekuensi Tubrukan

Untuk menghitung berapa energi kinetik yang dihasilkan oleh kapal, berat kapal yang dimaksud adalah berat displasmen total kapal, yang merupakan total dari *deadweight tonnage* dan *lightweight tonnage*.

Pada penelitian tugas akhir ini, diambil dua parameter konsekuensi yaitu:

- ***Global failure:***
Dampak daripada tubrukan sangat besar, sehingga mengakibatkan deformasi yang sangat massif yang berujung pada kegagalan struktur dan penghentian operasi fasilitas.
- ***Local failure:***
Impak tumbukan yang dihasilkan sudah melebihi kekuatan elastis material, sehingga menghasilkan deformasi permanen. Namun, kegagalan struktur masih dapat dihindarkan sehingga tidak berujung pada penghentian operasi fasilitas.

2.4. Identifikasi Bahaya

Sebelum dapat menghitung risiko yang merupakan perpaduan frekuensi dan konsekuensi, bahaya harus dapat dipetakan terlebih dahulu. Bahaya yang dimaksud adalah bahaya yang dapat menyebabkan risiko terjadinya tubrukan sebagai berikut:

- Kemungkinan human error
- Kemungkinan kegagalan pada sistem kontrol
- Kemungkinan kegagalan pada sistem propulsi kapal
- Kemungkinan kegagalan pada sistem navigasi kapal
- Kemungkinan kegagalan pada sistem navigasi komunikasi pencegahan tubrukan yang ada anjungan
- Kemungkinan tubrukan akibat rambu lalu lintas laut yang tidak memadai

2.5. Analisa Impak Energi Pada Struktur

Yield strength atau kekuatan elastis adalah nilai kekuatan daripada material, sampai pada tegangan berapa material tersebut mampu mempertahankan sifat elastisnya. Pada setiap material, terdapat nilai kekuatan elastis standar yang biasa disebut *specific minimum yield strength (SMYS)*. Impak tumbukan masih dapat dikategorikan aman jika dan hanya jika tegangan normal yang dihasilkan oleh tumbukan bernilai lebih kecil daripada *SMYS* struktur *platform*. Dengan begitu, dapat diketahui berapa gaya tumbukan dan energi tumbukan maksimum yang dapat diampu oleh struktur.

Defleksi balok sebagaimana dijelaskan diatas merupakan defleksi akibat pengaruh gaya dari luar terhadap suatu kolom. Selain defleksi balok, terdapat deformasi lain pada kolom akibat gaya impak, yaitu penyok atau *dent*. Rasio penyok per diameter menunjukkan kemungkinan terjadi sobekan pada kolom akibat gaya impak. Energi tumbukan yang mampu diampu oleh kolom

berbentuk pipa silinder adalah sebagai berikut (DNV,2001):

$$E = 16 \times \left(\frac{2\pi}{9}\right)^{\frac{1}{2}} \times m_p \times \left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{1}{2}} \times D \times \left(\frac{\delta}{D}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (2.2)$$

Dimana:

m_p = kapasitas momen plastis (= 0.25 x SMYS x t^2)

δ = dent depth

t = ketebalan silinder/kolom

D = diameter kolom

Berdasarkan Amdhal (1980) dan Ellinas & Walker (1983) dapat dikembangkan persamaan gaya tumbuk dan energi tumbuk yang memiliki fungsi kedalaman *denting*. Persamaan 2.2 dan persamaan 2.6 memiliki memberikan kemiripan hasil sebesar 97%. Sedangkan persamaan 2.4 memiliki deviasi hasil yang lebih jauh

-Ellinas & Walker:

$$F = 150. m_p \sqrt{\delta/D} \quad (2.3)$$

$$E = 100. m_p \delta^{1.5}/D \quad (2.4)$$

-Amdhal:

$$F = 21. m_p \sqrt{\delta/t} \quad (2.5)$$

$$E = 14. m_p \delta^{1.5} / \sqrt{t} \quad (2.6)$$

Dari sekian besaran energi impact yang diterima oleh *platform*, pada kasus tumbukan di *pile leg*, terdapat sejumlah energi yang terserap oleh *inner concrete pile*.

Inner concrete pile memiliki ukuran diameter sebesar 1372 mm dan ketebalan 38 mm. Besar energi impact yang terserap oleh *concrete pile* dihitung sebagai berikut (DNV,2001):

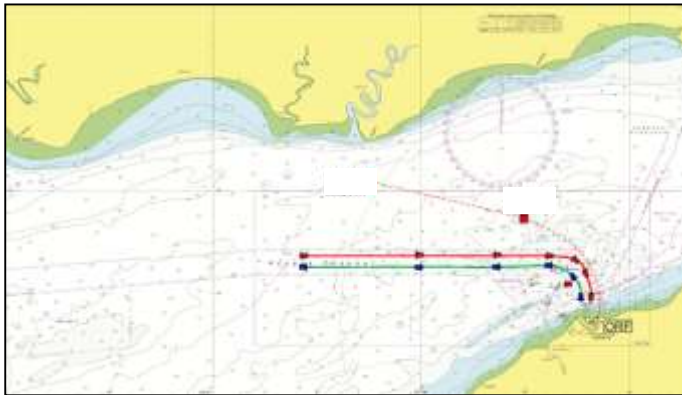
$$E = Yb \frac{4}{3} \sqrt{D \cdot x^3} \quad (2.6)$$

Dimana:

- Y = *Concrete crushing strength* diambil 120 MPa
- b = lebar *flattened area*
- x = kedalaman penetrasi
- D = diameter kolom

2.6. Probabilitas Tubrukan: *Head-on Collision*

Ilustrasi peta navigasi erikut menunjukkan disain lokasi *platform* yang akan dibangun. Sebagaimana di tunjukkan pada Gambar 2.4, jarak antara *platform* dengan alur pelayaran berkisar 1780 m.



Gambar 2. 1 Lokasi *platform* dan alur pelayaran
(Sumber: PT. ITS KEMITRAAN. 2014)

Frekuensi tubrukan kapal dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_{CP} = N \times F_d \times P_1 \times P_2 \times P_3 \quad (2.7)$$

Dimana :

N = jumlah lalu lintas kapal pertahun

F_d = proporsi kemungkinan kapal berada pada alur yang mengarah ke *platform*

P_1 = kemungkinan kegagalan kapal berlayar pada alur yang direncanakan

P_2 = kemungkinan *human error* petugas jaga navigasi

P_3 = kemungkinan kegagalan sistem peringatan dari *platform* untuk kapal yang mendekat dan mencegah tubrukan

Frekuensi tubrukan proporsional dengan ukuran *platform* dan kapal. Sebagaimana bisa dilihat pada Gambar diatas bahwa diameter tubrukan (*collision diameter*). Diameter tubrukan didefinisikan sebagai lebar daripada area terproyeksi tegak lurus dari arah datangnya kapal ditambah lebar kapal. Proporsi kemungkinan kapal melenceng dari alur (F_d) tergantung daripada titik terdekat alur pelayaran dengan *platform* dan lebar alur pelayaran.

$$F_d = D \times f(A) \quad (2.8)$$

Probabilitas tersebut dihitung dengan konsep distribusi normal sebagaimana berikut:

$$f(A) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{k^2}{2} \right) \quad (2.9)$$

Dimana:

A = jarak sumbu tengah alur pelayaran dan *platform*

σ = standar deviasi lintasan kapal (dalam meter)

$k = A/\sigma$

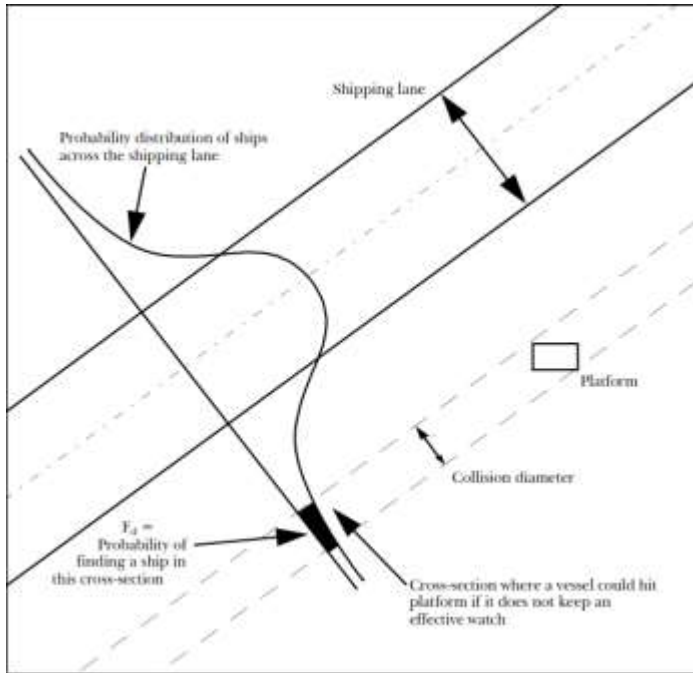
2.7. Probabilitas Tubrukan: *Drifting Vessel Collision*

Supply vessel yang datang melayani kebutuhan dari *platform* memiliki kemungkinan bertubrukan dengan *platform* per kunjungannya. *Visiting vessel* yang datang ke *platform* dapat kehilangan kendali jika:

- Terjadi kegagalan pada *mooring sistem*
- Terjadi kegagalan pada sistem propulsi atau permesinan
- Terjadi kegagalan pada *dynamic positioning sistem*

Sehingga, dari kejadian-kejadian kehilangan kendali tersebut, *visiting vessel* akan bertubrukan dengan *platform* jika:

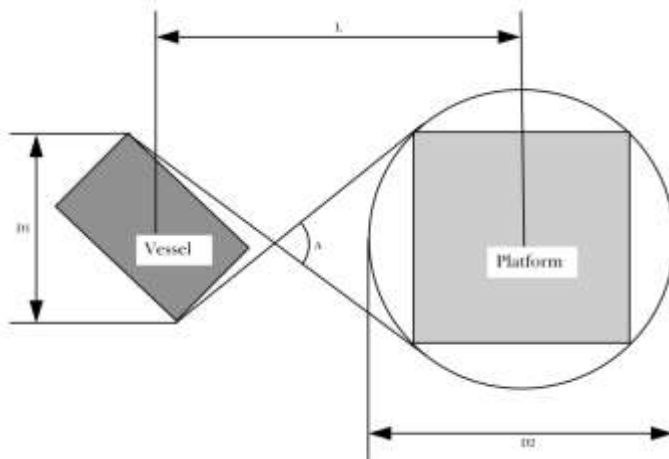
- kapal tersebut hanyut dan menghantam *platform*
- kapal tersebut tidak dapat menghidupkan ulang sistem permesinannya
- kapal tersebut gagal menurunkan jangkar guna menjaga kendali



Gambar 2. 2 Geometri alur pelayaran dengan *platform*
(Sumber: Spouge. 1999. *A Guide to Quantitative Risk Assessment for Offshore Installation*)

Distribusi kemungkinan arah arus dan angin dalam studi ini diasumsikan merata dari semua arah atau penjurumata angin. Kemudian, untuk menghitung *drift angle* daripada kapal yang mendekat, digunakan rumus sebagai berikut:

$$A = \arctan \frac{D_1 + D_2}{2L} \quad (2.10)$$



Gambar 2. 3 *Drifting geometry of visiting vessel*
(Sumber: Spouge. 1999. *A Guide to Quantitative Risk Assessment for Offshore Installation*)

Dimana:

A = Sudut masuk kapal (rad)

$D1$ = Proyeksi lebar kapal dilihat dari *platform*

$D2$ = Proyeksi lebar *platform* dilihat dari kapal

L = Jarak mula-mula kapal bermanuver

2.8. Skenario Tubrukan dengan Pertimbangan Traffic

Pelabuhan Babo merupakan Pelabuhan kapal kecil yang melayani kapal kecil. Kebanyakan merupakan kapal penumpang. Terdapat rute pelayaran perintis yang melayani transportasi laut antar daerah di Papua. Sebagai contoh adalah KM Sabuk Nusantara 28 yang akan melayani rute Merauke-Bade-Agats-Pomako-Dobo-Tual-Kaimana-Fak fak-Kokas-Babo-Bintuni dan berakhir di Sorong.



Gambar 2. 4 Kapal Perintis KM Sabuk Nusantara 28
(Sumber: <http://www.jasaraharja.co.id/files/2012/02/EE-MAng-007.jpg>)

Berdasarkan letak Pelabuhan Babo yang berada di dalam Teluk Bintuni, setiap kapal yang akan memasuki Pelabuhan Babo (pada Gambar ditunjukkann jalur Bitung-Merauke dan Dubo-Kaimana), dipastikan akan melewati *pipeline crossing*. Dalam hal ini, terdapat risiko tubrukan yang tidak menentu, dikarenakan kapal tidak sellu berlayar dalam alur yang sejajar dengan alur pelayaran yang ada di peta navigasi.

Berdasarkan diagram arah lalu lintas kapal diatas, skenario untu pemodelan frekuensi berdasarkan persamaan sebelumnya, dapat dikembangkan dengan cara menghitung berapa kemungkinan kapal yang berada di *collision diameter* pada lebih dari satu waktu. Misalnya, perbedaan karakteristik kapal kargo dengan kapal *supply*. *Supply vessel* memiliki aktivitas suplai kebutuhan untuk anjungan lepas pantai. Sehingga, standar deviasi kemungkinan tubrukan *supply vessel* cenderung lebih besar daripada kapal tipe lain. Skenario seperti inilah yang akan

dikembangkan dalam perhitungan frekuensi. Berdasarkan data lalu lintas kapal yang diperoleh, berbagai jenis kapal dibagi menjadi dua yaitu :



Gambar 2.5 Arah kapal yang berisiko tubrukan
(Sumber: Peta laut oleh TNI-AL)

1. Lalu lintas luar

Adalah semua kapal yang melintas, namun aktivitas operasinya tidak terkait dengan anjungan yang ada. Sebagai contoh kapal yang melintas menuju Pelabuhan Babo

2. Lalu lintas dalam

Adalah semua kapal yang aktivitas operasinya terkait dengan anjungan, seperti kapal suplai.

Berdasarkan tinjauan pustaka *head on collision*, *drifting vessel collision* dan *visiting vessel collision*, skenario yang dikembangkan adalah sebagai berikut :

- **Risiko terjadinya *head on collision* pada kapal lalu lintas luar**

Skenario ini merepresentasikan semua kapal lalu lintas luar yang melintas, yang kemudian memiliki risiko bahaya tubrukan yang diakibatkan hal sebagai berikut:

- Kegagalan nahkoda kapal memperhatikan rute pelayaran dan keamanan navigasi
- Petugas jaga kapal tidak menjalankan tugasnya dengan baik
- Sistem keamanan di *platform* yang gagal memberikan peringatan tepat waktu
- Kesalahan dalam menentukan garis haluan, yang mana menyebabkan kapal berlayar terlalu dekat dengan area terlarang sekitar *platform*

- **Risiko terjadinya *drifting collision* pada kapal lalu lintas luar**

Skenario ini merepresentasikan semua kapal lalu lintas luar yang melintas, yang kemudian memiliki risiko bahaya tubrukan yang diakibatkan hal sebagai berikut:

- Kemungkinan angin dan ombak yang mempengaruhi pergerakan kapal kearah *platform*
- Kejadian gagalnya sistem propulsi kapal dan sistem tersebut tidak dapat diaktifkan kembali tepat waktu
- Kesalahan dalam menentukan garis haluan, yang mana menyebabkan kapal berlayar terlalu dekat dengan area terlarang sekitar *platform*

Tabel 2. 1 Data lalu lintas kapal

Vessel Type	Max. Weight	Assumed Vessel Dimension (m)			
		L	B	T	H
Fishing Vessel (≤ 10 GT)	50	14.0	3.2	1.4	1.7
Fishing Vessel (30-100 GT)	100	19.0	4.1	2.0	2.4
Fishing Vessel (>200 GT)	200	30.0	10.0	3.5	4.0
Passenger	850	44.0	8.2	2.0	3.7
Tug Boats - Primary	1000	38.0	11.0	5.0	5.6
Platform Supply Vessel	1146	62.0	14.0	5.2	7.0
LCT/Barge	4000	91.5	24.4	4.8	5.5
MPSV	8845	92.4	18.8	6.2	7.6
Condensate Tanker	17010	137.0	23.0	7.3	10.0
Pipe Laying Vessel	10000	121.9	32.3	5.5	8.7
General Cargo Vessel	14500	140.0	22.0	8.5	11.0
LNG Tankers (Primary)	105000	293.0	46.0	11.5	25.0

(Sumber: GL Noble Denton,2014)

- **Risiko terjadinya *head on collision* pada kapal lalu lintas dalam**

Skenario ini merepresentasikan semua kapal lalu lintas dalam yang melintas, dalam hal ini contohnya adalah kapal suplai, yang kemudian memiliki risiko bahaya tubrukan yang diakibatkan hal sebagai berikut:

- Kegagalan nahkoda kapal memperhatikan rute pelayaran dan keamanan navigasi
- Petugas jaga kapal tidak menjalankan tugasnya dengan baik
- Sistem keamanan di *platform* yang gagal memberikan peringatan tepat waktu Kesalahan dalam menentukan garis haluan, yang mana menyebabkan kapal berlayar terlalu dekat dengan area terlarang sekitar *platform*

- **Risiko terjadinya *drifting collision* pada kapal lalu lintas dalam**

Skenario ini merepresentasikan semua kapal lalu lintas dalam yang melintas, dalam hal ini contohnya adalah kapal suplai, yang kemudian memiliki risiko

bahaya tubrukan yang diakibatkan hal sebagai berikut:

- Kemungkinan angin dan ombak yang mempengaruhi pergerakan kapal ke arah *platform*
- Kejadian gagalnya sistem propulsi kapal dan sistem tersebut tidak dapat diaktifkan kembali tepat waktu
- **Risiko terjadinya *collision during maneuvering* pada kapal lalu lintas dalam**

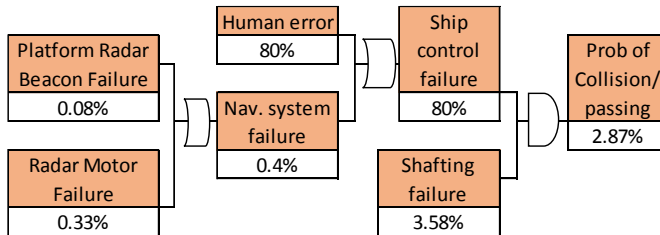
Skenario ini merepresentasikan semua kapal lalu lintas dalam yang melintas, dalam hal ini contohnya adalah kapal suplai, yang kemudian memiliki risiko bahaya tubrukan yang diakibatkan hal sebagai berikut:

- Kesalahan kapal dalam mengatur kecepatan pada saat akan bersandar
- Kesalahan kapal memperkirakan jarak dan sudut masuk kapal
- Kesalahan dalam menentukan garis haluan, yang mana menyebabkan kapal berlayar terlalu dekat dengan area terlarang sekitar *platform*

Berdasarkan pengembangan skenario diatas, metode *fault tree analysis* akan digunakan dalam penelitian ini. *Fault tree analysis* adalah *top down method* yang artinya menganalisa sebuah kemungkinan kejadian dari bawah, berdasarkan kejadian dasar atau penyebab-penyebab dasar yang mungkin terjadi. *Fault tree analysis* dimulai dari kejadian dasar yang tidak diinginkan, kemudian akan diturunkan kemungkinan kejadian selanjutnya, sebagai akibat dari kejadian dasar tersebut. Urutan kejadian tersebut akan terus dituliskan berdasarkan semua kemungkinan yang ada, sampai kemungkinan terjadinya kejadian puncak.

2.9. Perhitungan Peluang Terjadinya Satu Kejadian

Dalam perhitungan *fault tree analysis* terdapat dua moda perhitungan dalam menentukan peluang terjadinya sebuah kejadian.



Gambar 2.6 *Fault Tree Analysis* untuk perhitungan frekuensi tubrukan

Simultaneous occurrence events. Pada kasus ini terdapat dua kondisi dimana kejadian A dan kejadian B muncul bersama-sama. Pada kasus ini, kejadian A dan kejadian B adalah dua kejadian bebas satu sama lain. Artinya, peluang kejadian A tidak dipengaruhi oleh kejadian B demikian pula sebaliknya. Sebagai contoh adalah peluang kejadian tubrukan kapal dari setiap kapal yang melintas. Berdasarkan Gambar 2.10, peluang tubrukan kapal dari setiap kapal yang melintas hanya akan terjadi jika kapal kehilangan kendali dan terjadi kegagalan pada sistem propulsi. Hal tersebut berarti kapal sudah tidak mampu merubah arah pergerakannya dan menghentikan laju pergerakan menuju *platform*. Hubungan dua kejadian dilambangkan dengan *gate* (AND). Peluang kejadian *simultaneous occurrence events* dihitung sebagai berikut:

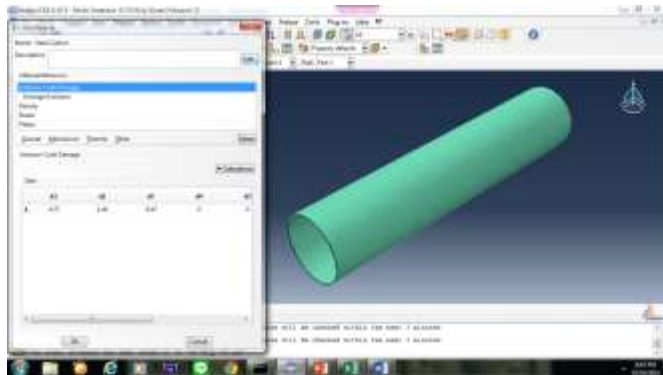
$$P(A \cap B) = P(A).P(B) \quad (2.11)$$

Occurrence of at least one of two events. Pada kasus ini terdapat dua kondisi dimana kejadian A dan kejadian B dapat muncul bersama-sama ataupun hanya satu dari dua kejadian tersebut. Pada kasus ini, kejadian A dan kejadian B adalah dua kejadian bebas satu sama lain. Artinya, peluang kejadian A tidak dipengaruhi oleh kejadian B demikian pula sebaliknya. Sebagai contoh adalah peluang kejadian kegagalan kontrol dari setiap kapal yang melintas. Berdasarkan Gambar 2.10, peluang kegagalan kontrol dari setiap kapal yang melintas hanya akan terjadi jika terjadi *human error* atau terjadinya kegagalan pada sistem navigasi kapal. Hal tersebut berarti kapal gagal memprediksi jarak aman terhadap *platform* yang ada di dekat alur pelayaran Hubungan dua kejadian dilambangkan dengan *gate* (OR). Peluang kejadiannya dapat dihitung sebagai berikut:

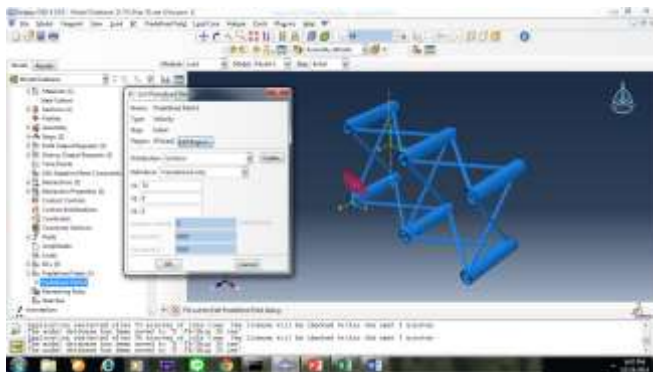
$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A).P(B) \quad (2.12)$$

2.10. Pemodelan Simulasi *Finite Element Analysis*

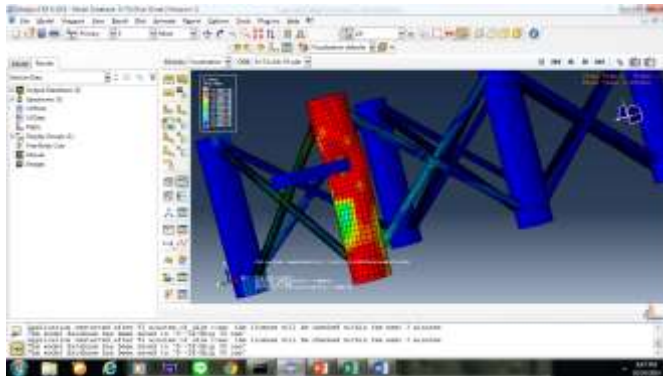
Dalam perhitungan konsekuensi, selain menggunakan perhitungan empiris analisa struktur, perlu juga menggunakan metode lain untuk bisa memverifikasi hasil hitungan Pemodelan menggunakan *finite element analysis (FEA)* adalah metode verifikasi yang akan digunakan terhadap perhitungan analysis empiris. Metode *FEA* dilakukan dengan memodelkan struktur dengan ukuran dan spesifikasi material yang telah ditentukan, kemudian akan disimulasi, dampak terhadap beban tertentu.



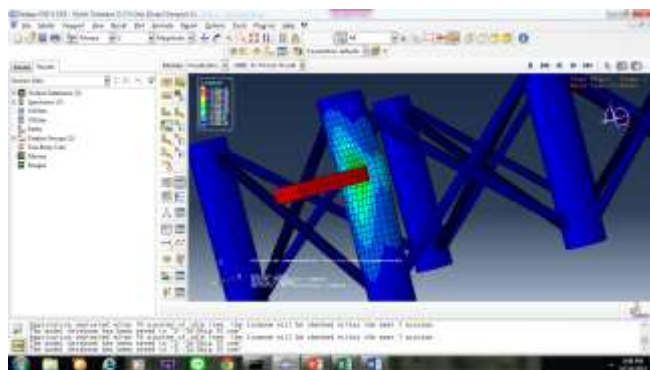
Gambar 2.7 Input material pada simulasi *FEA*



Gambar 2.8 Input beban gaya pada simulasi *FEA*



Gambar 2.9 Analisa tegangan pada simulasi *FEA*



Gambar 2.10 Analisa defleksi pada simulasi *FEA*

2.11. Kajian Risiko (*Risk Assessment*)

Risk Assessment atau kajian risiko merupakan suatu langkah dalam manajemen risiko. *Risk assessment* merupakan identifikasi bahaya-bahaya yang mungkin terjadi pada suatu objek dan risiko yang ditimbulkan oleh bahaya-bahaya potensial tersebut. Tingkat risiko diperoleh melalui perhitungan kemungkinan terjadinya suatu bahaya dan akibat yang ditimbulkan seandainya bahaya tersebut terjadi. Dari identifikasi konsekuensi

dan perhitungan frekuensi, dapat diplotkan sebuah *Risk Matrix* yang menunjukkan tingkat risiko yang dimiliki oleh objek tersebut, apakah tingkat risiko yang ada dapat diterima atau tidak.

Dalam konteks kajian risiko, seringkali dijumpai atau digunakan kriteria ALARP untuk menentukan apakah tingkat risiko suatu objek dapat diterima atau tidak. ALARP merupakan akronim dari *As Low As Reasonably Practicable* atau dapat diartikan “serendah mungkin dalam batas yang wajar”. Istilah ini umum digunakan dalam konteks kajian keselamatan untuk mengartikan bahwa pertimbangan yang memadai akan diambil terhadap sebuah risiko terkait dengan tingkatan risiko itu sendiri dan langkah-langkah mitigasinya. Secara praktis, untuk risiko-risiko yang berada pada daerah ALARP, perlu dilakukan pertimbangan antara tingkat risiko tersebut dan sumber daya yang diperlukan untuk mengurangnya. Karena itulah, pertimbangan yang dilakukan terkait dengan daerah ALARP menjadi amat subjektif.

Jika risiko yang berada pada daerah tidak dapat diterima/ALARP, ada beberapa langkah untuk mengurangi tingkat risiko:

1. Mengurangi tingkat frekuensi.
2. Mengurangi tingkat konsekuensi.
3. Mengurangi konsekuensi dan frekuensi.

Secara umum tubrukan antara kapal dan *platform* merupakan sebuah kejadian yang dapat diperkirakan dan diantisipasi. Berdasarkan catatan statistik, kemungkinan tubrukan *platform* dengan *visiting vessel* dua tingkat lebih tinggi daripada *passing vessel*. Energi dampak yang dihasilkan dari *visiting vessel* cenderung kecil, kecuali pada kasus tubrukan dengan kapal seperti tanker dan *FPSO*. Meskipun kecil kemungkinan tubrukan yang dapat terjadi, kerusakan akibat tubrukan

dengan kapal berukuran besar bisa sangat merugikan. Kerugian yang dimaksud bisa berupa kematian, kerusakan lingkungan, dan kerugian aset.

Increasing probability				
1	2	3	4	5
Failure is not expected $< 10^{-5}$	Never heard of in the industry $10^{-5} - 10^{-4}$	An accident has occurred in the industry $10^{-4} - 10^{-3}$	Has been experienced by most operators $10^{-3} - 10^{-2}$	Occurs several times per year $10^{-2} - 10^{-1}$
M	H	VH	VH	VH
L	M	H	VH	VH
VL	L	M	H	VH
VL	VL	L	M	H
VL	VL	VL	L	M

Gambar 2.11 Contoh *Risk Matrix*
(Sumber: DNV RP-F116)

2.12. Upaya Pencegahan Tubrukan Kapal dan Platform

Tanggung jawab paling besar dalam upaya penanggulangan tubrukan kapal dengan platform berada pada *Offshore Installation Manager (OIM)*. Pemegang jabatan tersebut dan seluruh jajaran manajemennya bertanggung jawab dalam mengimplementasikan dan mengkondisikan *Collision Risk Management (CRM)* yang secara khusus dirancang untuk mengantisipasi bahaya tubrukan kapal dengan platform. Sistem tersebut terdiri dari:

- Komitmen untuk menerapkan secara disiplin *Collision Risk Management*

- Kebijakan tertulis yang jelas
- Penilaian risiko terhadap bahaya tubrukan
- Mengupayakan segala bentuk mitigasi yang mungkin diterapkan
- Menjamin bahwa segala pekerja yang terlibat memiliki kemampuan yang memadai dan profesional
- Menjamin keefektifan sistem laporan berkala dari para pekerja yang bertugas

Nahkoda kapal yang melintas bertanggung jawab untuk keamanan operasi kapal yang dikomandaniya untuk menjaga jarak aman terhadap *platform*. Nahkoda bagi kapal yang beroperasi di area *platform* seperti *supply vessel* juga bertanggung jawab terhadap keselamatan kapalnya.

Setiap instalasi memiliki prosedur darurat atas tindakan yang akan dilakukan saat terjadi atau untuk menghindari kecelakaan. Prosedur tersebut pada prinsipnya menekankan upaya tertentu terhadap kapal yang mendekat agar tidak terjadi tubrukan. Pada saat-saat kritis seperti itu, diharapkan jika terjadi kemungkinan terburuk, maka masih ada waktu guna evakuasi pekerja yang ada di lapangan.

Latihan khusus secara berkala menjadi agenda yang penting. Latihan yang dimaksud adalah latihan aksi darurat pencegahan kecelakaan. Siapapun baik yang berada di atas *platform* maupun yang berada di atas kapal wajib mengikuti prosedur latihan tersebut.

2.12.1. Prosedur Darurat

Prosedur darurat untuk passing vessel harus mencakup hal sebagai berikut:

- Kemampuan deteksi dini terjadinya tubrukan
- Kemampuan untuk berkomunikasi dengan kapal yang mendekat

- Adanya waktu yang cukup untuk melakukan usaha mencegah tubrukan oleh kapal yang mendekat
- Adanya waktu yang cukup guna mengamankan fasilitas instalasi dan evakuasi para pekerja
- Kemampuan meminimalkan dampak tubrukan dengan mempertimbangkan jarak dan waktu tempuh kapal yang mendekat untuk samapai ke *platform*.

Kapal yang memiliki aktivitas di area platform memiliki kemungkinan yang cukup besar dibanding kapal tipe lain yang ada. Dampak yang diakibatkan juga dapat menimbulkan kerugian aset yang cukup signifikan baik pada kapal maupun pada platform. Prosedur darurat untuk visiting vessel harus mempertimbangkan hal sebagai berikut:

- Kehilangan kontrol kapal baik dari sistem navigasi maupun sistem propulsi kapal
- Pertimbangan bahwa kapal akan menubruk pada kecepatan yang cukup tinggi
- Pada saat manuver, merupakan saat-saat kritis kapal memiliki kemungkinan untuk kehilangan kendali
- Evakuasi darurat secepat mungkin
- Penyelamatan darurat terhadap kru kapal
- Kebakaran dan ledakan

2.12.2. Reporting and Follow-up

Setiap kejadian tubrukan harus dilaporkan secara terperinci, khususnya pada *passing vessel* karena merupakan kapal pihak luar. Seringkali pada kejadian tubrukan *visiting vessel* tidak dilaporkan secara lengkap selain karena merupakan kapal pihak dalam, juga hanya mengakibatkan kerusakan minor.

Agar setiap risiko dapat dianalisa guna kedepannya, setiap kejadian di lapangan haruslah dilaporkan secara lengkap, akurat dan komprehensif. Secara periodik, penanggung jawab terkait harus memperbarui setiap prosedur berdasarkan laporan yang diberikan dari lapangan.

BAB III METODOLOGI

Metodologi pada penelitian tugas akhir ini meliputi semua kegiatan yang dilaksanakan guna memecahkan permasalahan dan melakukan proses analisa terhadap permasalahan dalam tugas akhir ini.

3.1. Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dengan disain struktur yang ada, berapakah energi dampak maksimum yang mampu ditahan pada kejadian tubrukan antara kapal dengan platform?
2. Apa saja dampak tubrukan yang mungkin terjadi pada struktur tersebut?
3. Bagaimana tingkat risiko dari masing-masing skenario tubrukan?
4. Apa upaya mitigasi yang dilakukan jika risiko yang ada berada pada daerah yang tidak dapat ditolerir?

3.2. Pembuatan Skenario

1. Skenario yang dibuat berdasarkan dua kejadian yang diasumsikan; yaitu *head-on collision* dan *visiting vessel collision*.

2. Pembuatan skenario memperhatikan banyak aspek seperti lalu lintas kapal dan bahaya yang ada berdasarkan identifikasi bahaya yang telah dilakukan

Berdasarkan tinjauan pustaka *head on collision*, *drifting vessel collision* dan *visiting vessel collision*, skenario yang dikembangkan adalah sebagai berikut :

1. Risiko terjadinya *head on collision* pada kapal lalu lintas luar
2. Risiko terjadinya *drifting collision* pada kapal lalu lintas luar

3. Risiko terjadinya *head on collision* pada kapal lalu lintas dalam
4. Risiko terjadinya *drifting collision* pada kapal lalu lintas dalam
5. Risiko terjadinya *collision during maneuvering* pada kapal lalu lintas dalam

3.3. Studi Literatur

Dalam melakukan penilaian risiko, dasar tinjauan pustaka mengacu pada beberapa referensi dan literatur. Lingkup studi literatur diantaranya sebagai berikut:

1. Perhitungan frekuensi tubrukan didasarkan pada banyak parameter, diantaranya jumlah kapal yang beroperasi, posisi platform, lebar jalur pelayaran, dan sebaran kapal di area alur pelayaran.
2. Perhitungan konsekuensi bertujuan untuk mengetahui ketahanan struktur terhadap tubrukan. Energi tubrukan dihitung berdasarkan variabel berat kapal dan kecepatan kapal.
3. Melakukan pengamatan pada peta navigasi yang ada, ukemudian memetakan koordinat fasilitas yang akan dibangun dan memetakan arus lalu lintas kapal
4. Menghitung konsekuensi dan frekuensi berdasarkan tinjauan pustaka yang sudah dipelajari
5. Menghitung dampak yang terjadi pada struktur karena energi impact tubrukan kapal berdasarkan disain struktur yang ada

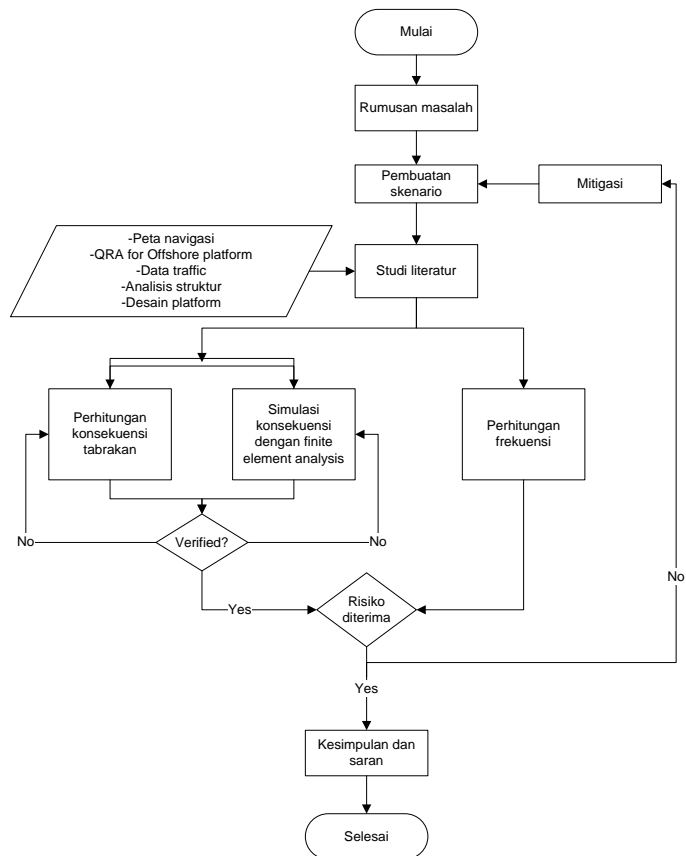
3.4. Studi Data

Data merupakan bagian penting dalam penelitian ini. Selain peta navigasi Teluk Bintuni sebagaimana yang telah disebutkan, diperlukan juga data sebagai berikut:

1. Data jumlah kapal
2. Data lalu lintas kapal per tahun
3. Data disain struktur
4. Data koordinat lokasi *platform* di Teluk Bintuni untuk dibaca pada peta navigasi

3.5. Penilaian Risiko dan Mitigasi

Penilaian risiko dilakukan berdasarkan hasil analisa konsekuensi dan frekuensi berdasarkan skenario yang telah dimodelkan. Berdasarkan hasil tersebut, diambil skenario mitigasi yang mungkin dilakukan seperti: pemberian *buoy* navigasi sebagai rambu lalu lintas kapal, penerapan sarana navigasi antara kapal dengan *platform* sebagai sarana pemberitahuan jika ada kapal yang mendekat, dan pemasangan sarana *automatic identification system (AIS)* di *platform* sebagai upaya untuk mengetahui pergerakan kapal disekitar area *platform*.



Gambar 3. 1 Metodologi pengerjaan tugas akhir

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Dalam bab IV ini akan dijelaskan analisa pengerjaan dari data yang telah didapatkan. Setiap analisa data dan pembahasan dilakukan berdasarkan metodologi yang telah dirumuskan sebelumnya. Langkah awal yang dilakukan adalah menganalisa skenario tubrukan yang mungkin terjadi berdasarkan data lalu lintas kapal, data arah pelayaran kapal, dan data aktivitas kapal.

Jenis platform yang akan dianalisa adalah *normally unmanned installation* (NUI) yang mana instalasi tersebut dirancang supaya dapat dioperasikan secara otomatis tanpa kebutuhan personel manusia. Platform seperti ini dikategorikan sebagai platform dengan ukuran kecil, pada umumnya hanya terdiri dari fasilitas pengeboran (*wellhead/wellbay*) dan sebuah *helipad*. Instalasi jenis ini biasanya dibangun diperairan yang tidak terlalu dalam, dimana membuat sebuah *unmanned platform* menjadi pilihan yang relatif murah

Ada banyak faktor yang mempengaruhi terjadinya tubrukan. Semakin besar ukuran platform, semakin besar pula frekuensi tubrukan yang mungkin terjadi. Selain itu, yang juga berpengaruh adalah frekuensi kapal yang melintas/berkunjung.

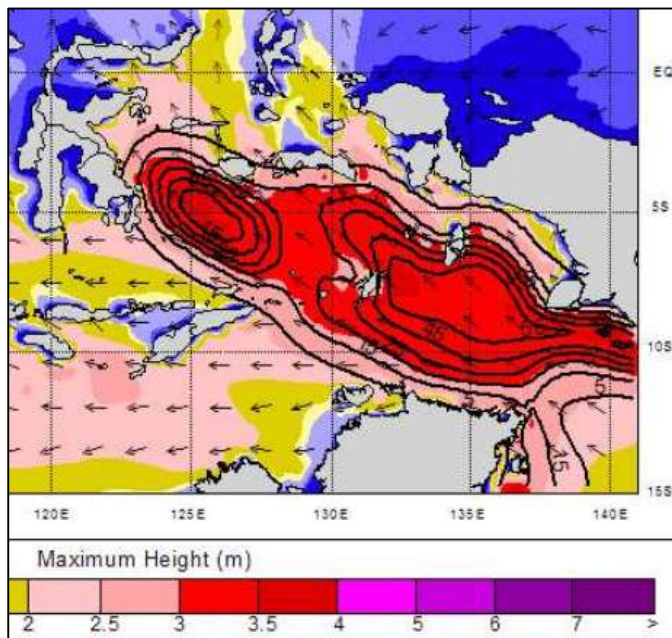
4.1. Analisa Keadaan Laut Sekitar Platform

Lokasi platform yang akan dianalisa beradai di Teluk Bintuni yang mana termasuk daerah laut Arafuru. Gelombang, arus, dan angin merupakan faktor alam yang dapat mengganggu pelayaran kapal, sehingga pergerakan kapal mengalami deviasi dari garis haluan yang sebelumnya telah ditetapkan. Berdasarkan Tabel 4.1, dapat diketahui bahwa sejatinya perairan di area Teluk Bintuni memiliki cuaca yang cukup ekstrim.

Tabel 4. 1 Prakiraan rata-rata gelombang air laut

Lokasi	Kec. Angin (knot)	Tinggi Gelombang (m)	Frekuensi Gel. > 3 meter
Laut Banda	10-20	2.0-4.0	5-45 %
Perairan Kepulauan Aru	10-20	2.0-3.5	5-25 %
Laut Arafuru	10-20	2.0-3.5	5-45 %

(Sumber: BMKG, 2014)

Gambar 4. 1 Data tinggi gelombang Indonesia timur
(Sumber: BMKG, 2014)

Pada tugas akhir ini dibahas risiko tubrukan kapal dengan *platform*, yang beberapa kemungkinan penyebabnya adalah arus dan gelombang laut serta arah angin. Keadaan alam sebagaimana disebutkan dalam Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 memberikan alasan yang cukup bahwa perlu dilakukan kajian terhadap risiko tubrukan antara kapal dengan *platform*.

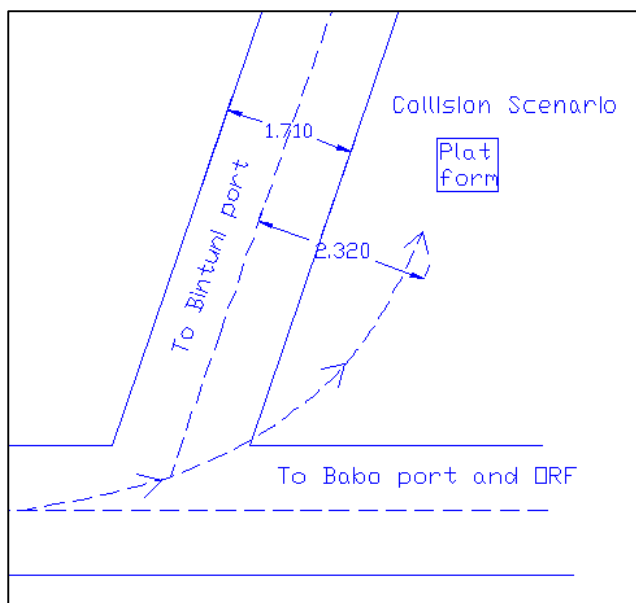
4.2. Pemodelan Skenario Tubrukan Kapal - *Platform*

Setiap jenis kapal memiliki tujuan, aktivitas, dan arah pelayaran yang berbeda-beda. Karakteristik kapal tersebut harus dipertimbangkan dalam memodelkan skenario tubrukan guna menghitung frekuensi kejadian tubrukan.

4.2.1. *External Passing Vessel Collision Scenario I*

Kapal lalu lintas luar adalah semua kapal yang arah pelayarannya tidak menuju atau berasal dari *platform*. Kapal-kapal tersebut terdiri dari kapal penangkap ikan dan kapal penumpang perintis baik yang menuju Pelabuhan Babo maupun Pelabuhan Bintuni. Total kapal yang akan melintas diperkirakan sebanyak 1152 kapal/tahun.

Pada skenario pertama, kapal-kapal tersebut diskenariokan berlayar menuju Pelabuhan Bintuni yang terletak di sebelah utara Teluk Bintuni. Kapal tersebut dideskripsikan sebagai kelompok kapal yang melaju memasuki radius 500 meter daerah terlarang sekitar *platform* dan kemudian terjadi tubrukan yang dapat disebabkan oleh kemungkinan berikut:



Gambar 4. 2 *External passing vessel scenario 1*

- *Human error* oleh perwira jaga kapal yang sedang bertugas. Perwira jaga yang dimaksud gagal memperkirakan jalur pelayaran atau gagal dalam mengawasi arah pergerakan kapal untuk menghindari tubrukan.
- Kegagalan pada sistem navigasi di kapal untuk mengidentifikasi adanya *platform*
- Kegagalan pada sistem propulsi, misalnya pada saat kondisi mesin *overheat*, sehingga mesin harus mati
- Kesalahan dalam menentukan garis haluan, yang mana menyebabkan kapal berlayar terlalu dekat dengan area terlarang sekitar platform

Urutan Kejadian yang diskenarioikan adalah sebagai berikut:

1. Kapal berasal dari luar Teluk Bintuni dan menuju Pelabuhan Bintuni
2. Terjadi kegagalan pada sistem navigasi kapal, yaitu kegagalan mendeteksi adanya *platform* yang diakibatkan karena; kegagalan mentransmisikan sinyal pada *platform radar beacon* atau kegagalan radar kapal mendeteksi *platform*
3. Kegagalan kontrol kapal akibat kemungkinan dua hal; *human error* atau kegagalan sistem navigasi seperti dijelaskan pada poin (2).
4. Tubrukan antara kapal dan *platform* yang mungkin terjadi karena kegagalan kontrol kapal atau kegagalan pada sistem propulsi kapal saat kapal sudah berada dekat pada area terlarang 500 meter.

4.2.2. External Passing Vessel Collision Scenario 2

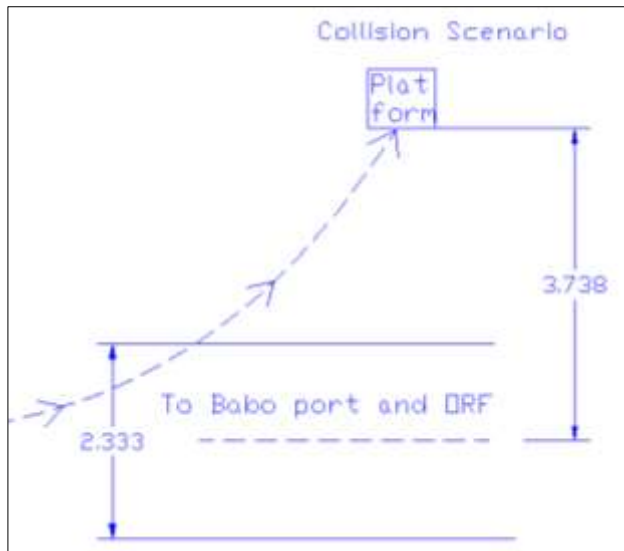
Kapal lalu lintas luar adalah semua kapal yang arah pelayarannya tidak menuju atau berasal dari *platform*. Kapal-kapal tersebut terdiri dari kapal penangkap ikan dan kapal penumpang perintis baik yang menuju Pelabuhan Babo maupun Pelabuhan Bintuni. Total kapal yang akan melintas diperkirakan sebanyak 1152 kapal/tahun.

Pada skenario kedua ini, kapal-kapal tersebut diskenariokan berlayar menuju Pelabuhan Baboyang terletak di sebelah tenggara Teluk Bintuni. Kapal tersebut dideskripsikan sebagai kelompok kapal yang melaju memasuki radius 500 meter daerah terlarang sekitar *platform* dan kemudian terjadi tubrukan yang dapat disebabkan oleh kemungkinan berikut:

- *Human error* oleh perwira jaga kapal yang sedang bertugas. Perwira jaga yang dimaksud gagal memperkirakan jalur pelayaran atau gagal dalam

mengawasi arah pergerakan kapal untuk menghindari tubrukan.

- Kegagalan pada sistem navigasi di kapal untuk mengidenifikasi adanya *platform*
- Kegagalan pada sistem propulsi, misalnya pada saat kondisi mesin *overheat*, sehingga mesin harus mati



Gambar 4. 3 *External passing vessel scenario 2*

Urutan Kejadian yang diskenarioikan adalah sebagai berikut:

1. Kapal berasal dari luar Teluk Bintuni dan menuju Pelabuhan Babo
2. Terjadi kegagalan pada sistem navigasi kapal, yaitu kegagalan mendeteksi adanya *platform* yang diakibatkan karena; kegagalan mentransmisikan sinyal pada *platform radar*

beacon atau kegagalan radar kapal mendeteksi *platform*

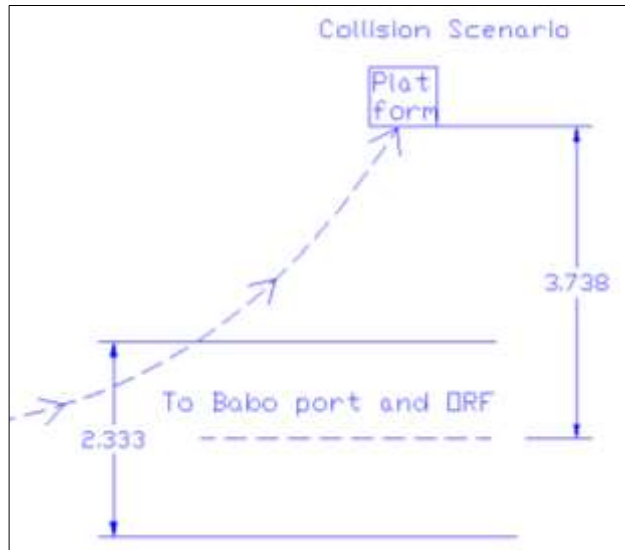
3. Kegagalan kontrol kapal akibat kemungkinan dua hal; *human error* atau kegagalan sistem navigasi seperti dijelaskan pada poin (2).
4. Tubrukan antara kapal dan *platform* yang mungkin terjadi karena kegagalan kontrol kapal atau kegagalan pada sistem propulsi kapal saat kapal sudah berada dekat pada area terlarang 500 meter.

4.2.3. Internal Passing Vessel Collision Scenario 1

Kapal lalu lintas dalam adalah semua kapal aktivitasnya terkait dengan *platform* dan terminal LNG yang ada di Teluk Bintuni. Arah kapal-kapal tersebut bisa dari dan menuju *platform*. Kelompok kapal yang dimaksud adalah *LNG tankers*, *condensate tankers*, dan kapal *general cargo*. Total kapal yang akan melintas diperkirakan sebanyak 232 kapal/tahun.

Pada skenario ketiga ini, kapal-kapal tersebut diskenariokan berlayar menuju terminal penerima/kilang gas yang terletak di sebelah selatan Teluk Bintuni. Kapal tersebut dideskripsikan sebagai kelompok kapal yang melaju memasuki radius 500 meter daerah terlarang sekitar *platform* dan kemudian terjadi tubrukan yang dapat disebabkan oleh kemungkinan berikut:

- *Human error* oleh perwira jaga kapal yang sedang bertugas. Perwira jaga yang dimaksud gagal memperkirakan jarak aman atau gagal dalam mengawasi arah pergerakan kapal untuk menghindari tubrukan.
- Kegagalan pada sistem propulsi, misalnya pada saat kondisi mesin *overheat*, sehingga mesin harus mati



Gambar 4. 4 *Internal passing vessel scenario 1*

Urutan Kejadian yang diskenariokan adalah sebagai berikut:

1. Kapal merupakan kapal yang hendak menuju Pelabuhan Babo.
2. Terjadi kegagalan pada sistem navigasi kapal, yaitu kegagalan mendeteksi jarak aman *platform* yang diakibatkan karena; kegagalan mentransmisikan sinyal pada *platform radar beacon*, jarak pandang yang kurang memadai atau kegagalan radar kapal mendeteksi *platform*
3. Kegagalan kontrol kapal akibat kemungkinan dua hal; *human error* atau kegagalan sistem navigasi seperti dijelaskan pada poin (2).
4. Tubrukan antara kapal dan *platform* yang mungkin terjadi karena kegagalan kontrol kapal atau kegagalan pada sistem propulsi kapal saat

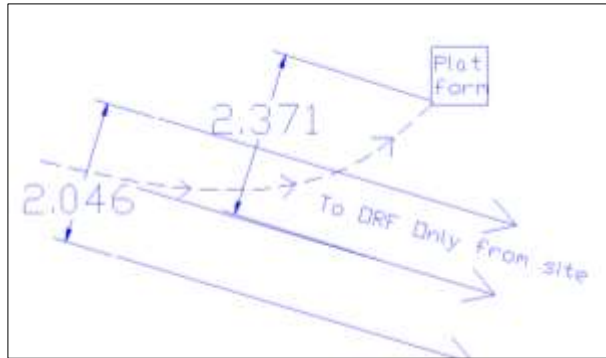
kapal sudah berada dekat pada area terlarang 500 meter.

4.2.4. Internal Passing Vessel Collision Scenario 2

Kapal lalu lintas dalam adalah semua kapal aktivitasnya terkait dengan *platform* dan terminal *LNG* yang ada di Teluk bintuni. Arah kapal-kapal tersebut bisa dari dan menuju *platform*. Kelompok kapal yang dimaksud adalah *landing craft transport (LCT)*, *offshore supply vessel (OSV)*, *multi purpose support vessel (MPSV)*. Total kapal yang akan melintas diperkirakan sebanyak 124 kapal/tahun.

Pada skenario keempat ini, kapal-kapal tersebut diskenariokan berlayar menuju terminal penerima/kilang gas yang terletak di sebelah selatan Teluk Bintuni. Kapal tersebut dideskripsikan sebagai kelompok kapal yang melaju memasuki radius 500 meter daerah terlarang sekitar *platform* dan kemudian terjadi tubrukan yang dapat disebabkan oleh kemungkinan berikut:

- *Human error* oleh perwira jaga kapal yang sedang bertugas. Perwira jaga yang dimaksud gagal memperkirakan jarak aman atau gagal dalam mengawasi arah pergerakan kapal untuk menghindari tubrukan.
- Kegagalan pada sistem propulsi, misalnya pada saat kondisi mesin *overheat*, sehingga mesin harus mati



Gambar 4. 5 *Internal passing vessel scenario 2*

Urutan Kejadian yang diskenariokan adalah sebagai berikut:

1. Kapal merupakan kapal yang hendak menuju Pelabuhan Babo.
2. Terjadi kegagalan pada sistem navigasi kapal, yaitu kegagalan mendeteksi jarak aman *platform* yang diakibatkan karena; kegagalan mentransmisikan sinyal pada *platform radar beacon*, jarak pandang yang kurang memadai atau kegagalan radar kapal mendeteksi *platform*
3. Kegagalan kontrol kapal akibat kemungkinan dua hal; *human error* atau kegagalan sistem navigasi seperti dijelaskan pada poin (2).
4. Tubrukan antara kapal dan *platform* yang mungkin terjadi karena kegagalan kontrol kapal atau kegagalan pada sistem propulsi kapal saat kapal sudah berada dekat pada area terlarang 500 meter.

4.2.5. Drifting Collision for External Vessel Scenario 1

Kapal lalu lintas luar adalah semua kapal yang arah pelayarannya tidak menuju atau berasal dari

platform. Kapal-kapal tersebut terdiri dari kapal penangkap ikan dan kapal penumpang perintis baik yang menuju Pelabuhan Babo maupun Pelabuhan Bintuni. Total kapal yang akan melintas diperkirakan sebanyak 1152 kapal/tahun. Pada skenario ini, kapal-kapal tersebut diskenariokan berlayar menuju Pelabuhan Bintuni yang terletak di sebelah utara Teluk Bintuni. Kapal tersebut dideskripsikan sebagai kelompok kapal yang melaju memasuki radius 500 meter daerah terlarang sekitar *platform* dan kemudian terjadi tubrukan yang dapat disebabkan oleh kemungkinan berikut:

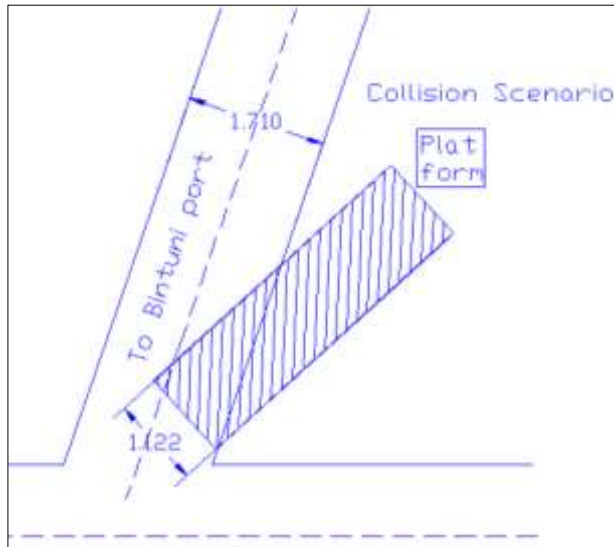
- Kegagalan pada sistem propulsi, misalnya pada saat kondisi mesin *overheat*, sehingga mesin harus mati
- Arah angin, arus, dan ombak membuat kapal terseret kearah *platform*.
- Semua usaha untuk mengembalikan kapal dalam kondisi terkendali tidak berhasil.

Urutan Kejadian yang diskenariokan adalah sebagai berikut:

1. Kapal berasal dari luar Teluk Bintuni dan menuju Pelabuhan Bintuni
2. Terjadi kegagalan pada sistem navigasi kapal, yaitu kegagalan mendeteksi adanya platform yang diakibatkan karena; kegagalan mentransmisikan sinyal pada platform radar beacon atau kegagalan radar kapal mendeteksi platform
3. Kegagalan kontrol kapal akibat kemungkinan dua hal; human error atau kegagalan sistem navigasi seperti dijelaskan pada poin (2).
4. Pada saat kapal kehilangan kendali angin dan gelombang laut menyebabkan kapal terbawa arus

sehingga menubruk *platform* dengan sisi samping kapal

5. Tubrukan antara kapal dan platform yang terjadi karena kapal sudah berada dekat pada area terlarang 500 meter.



Gambar 4. 6 *Drifting collision for external vessel scenario 1*

4.2.6. *Drifting Collision for External Vessel Scenario 2*

Kapal lalu lintas luar adalah semua kapal yang arah pelayarannya tidak menuju atau berasal dari *platform*. Kapal-kapal tersebut terdiri dari kapal penangkap ikan dan kapal penumpang perintis baik yang menuju Pelabuhan Babo maupun Pelabuhan Bintuni. Total kapal yang akan melintas diperkirakan sebanyak 1152 kapal/tahun.

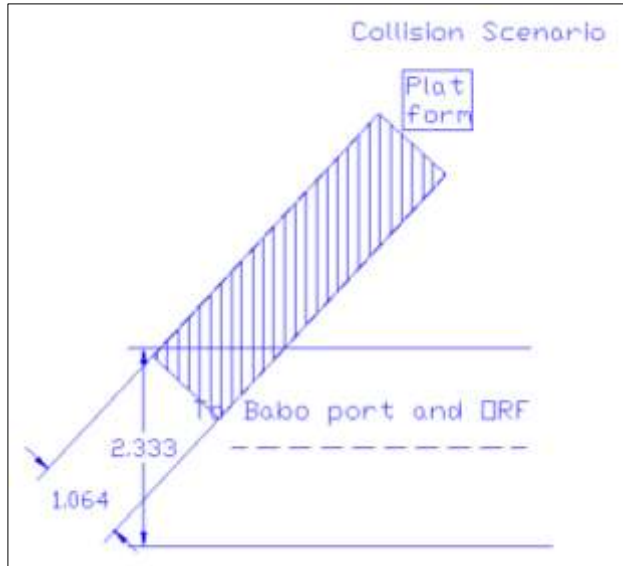
Pada skenario ini, kapal-kapal tersebut diskenariokan berlayar menuju Pelabuhan Babo yang

terletak di sebelah tenggara Teluk Bintuni. Kapal tersebut dideskripsikan sebagai kelompok kapal yang melaju memasuki radius 500 meter daerah terlarang sekitar *platform* dan kemudian terjadi tubrukan yang dapat disebabkan oleh kemungkinan berikut:

- Kegagalan pada sistem propulsi, misalnya pada saat kondisi mesin overheat, sehingga mesin harus mati
- Arah angin, arus, dan ombak membuat kapal terseret ke arah platform.
- Semua usaha untuk mengembalikan kapal dalam kondisi terkendali tidak berhasil.

Urutan Kejadian yang diskenariokan adalah sebagai berikut:

1. Kapal berasal dari luar Teluk Bintuni dan menuju Pelabuhan Babo
2. Terjadi kegagalan pada sistem navigasi kapal, yaitu kegagalan mendeteksi adanya platform yang diakibatkan karena; kegagalan mentransmisikan sinyal pada platform radar beacon atau kegagalan radar kapal mendeteksi platform
3. Kegagalan kontrol kapal akibat kemungkinan dua hal; human error atau kegagalan sistem navigasi seperti dijelaskan pada poin (2).
4. Pada saat kapal kehilangan kendali angin dan gelombang laut menyebabkan kapal terbawa arus sehingga menubruk *platform* dengan sisi samping kapal
5. Tubrukan antara kapal dan platform yang terjadi karena kapal sudah berada dekat pada area terlarang 500 meter.



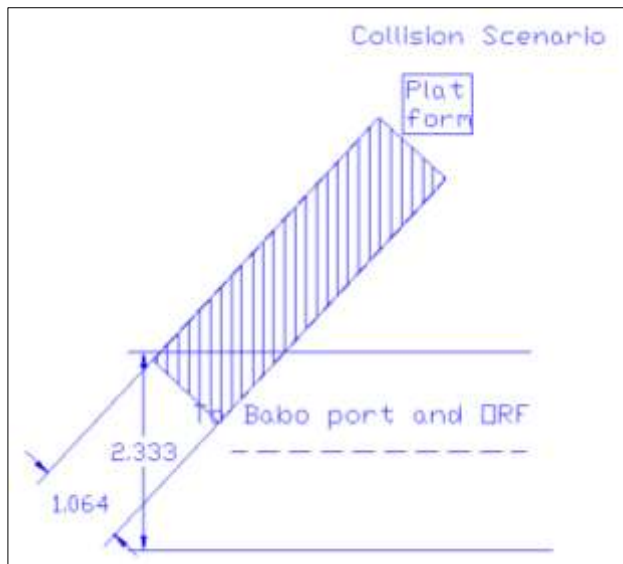
Gambar 4. 7 *Drifting collision for external vessel scenario 2*

4.2.7. *Drifting Collision for Internal Vessel Scenario 1*

Kapal lalu lintas dalam adalah semua kapal aktivitasnya terkait dengan *platform* dan terminal *LNG* yang ada di Teluk bintuni. Arah kapal-kapal tersebut bisa dari dan menuju *platform*. Kelompok kapal yang dimaksud adalah *LNG tankers*, *condensate tankers*, dan kapal *general cargo*. Total kapal yang akan melintas diperkirakan sebanyak 232 kapal/tahun.

Pada skenario ini, kapal-kapal tersebut diskenariokan berlayar menuju Pelabuhan Babo yang terletak di sebelah tenggara Teluk Bintuni. Kapal tersebut dideskripsikan sebagai kelompok kapal yang melaju memasuki radius 500 meter daerah terlarang sekitar *platform* dan kemudian terjadi tubrukan yang dapat disebabkan oleh kemungkinan berikut:

- Kegagalan pada sistem propulsi, misalnya pada saat kondisi mesin overheat, sehingga mesin harus mati
- Arah angin, arus, dan ombak membuat kapal terseret ke arah platform.
- Semua usaha untuk mengembalikan kapal dalam kondisi terkendali tidak berhasil.



Gambar 4. 8 *Drifting collision for internal vessel scenario 1*

Urutan Kejadian yang diskenariokan adalah sebagai berikut:

1. Kapal adalah kapal yang hendak menuju Pelabuhan Babo
2. Terjadi kegagalan pada sistem navigasi kapal, yaitu kegagalan mendeteksi adanya platform yang diakibatkan karena; kegagalan

mentransmisikan sinyal pada platform radar beacon atau kegagalan radar kapal mendeteksi platform

3. Kegagalan kontrol kapal akibat kemungkinan dua hal; human error atau kegagalan sistem navigasi seperti dijelaskan pada poin (2).
4. Pada saat kapal kehilangan kendali angin dan gelombang laut menyebabkan kapal terbawa arus sehingga menubruk platform dengan sisi samping kapal
5. Tubrukan antara kapal dan platform yang terjadi karena kapal sudah berada dekat pada area terlarang 500 meter.

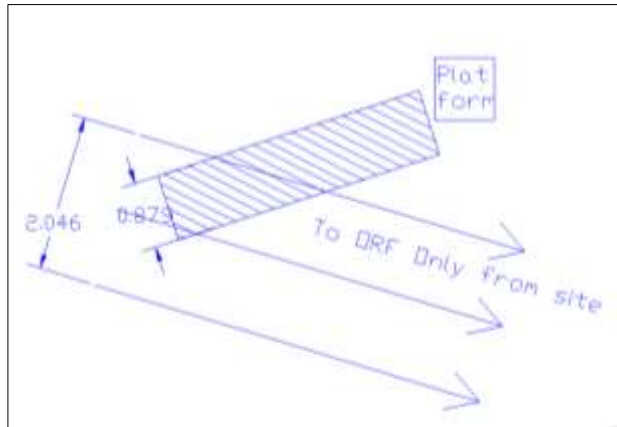
4.2.8. Drifting Collision for Internal Vessel Scenario 2

Kapal lalu lintas dalam adalah semua kapal aktivitasnya terkait dengan *platform* dan terminal *LNG* yang ada di Teluk Bintuni. Arah kapal-kapal tersebut bisa dari dan menuju *platform*. Kelompok kapal yang dimaksud adalah *landing craft transport (LCT)*, *offshore supply vessel (OSV)*, *multi purpose support vessel (MPSV)*. Total kapal yang akan melintas diperkirakan sebanyak 124 kapal/tahun.

Pada skenario keempat ini, kapal-kapal tersebut diskenariokan berlayar menuju terminal penerima/kilang gas yang terletak di sebelah selatan Teluk Bintuni. Kapal tersebut dideskripsikan sebagai kelompok kapal yang melaju memasuki radius 500 meter daerah terlarang sekitar *platform* dan kemudian terjadi tubrukan yang dapat disebabkan oleh kemungkinan berikut:

- Kegagalan pada sistem propulsi, misalnya pada saat kondisi mesin overheated, sehingga mesin harus mati

- Arah angin, arus, dan ombak membuat kapal terseret ke arah platform.
- Semua usaha untuk mengembalikan kapal dalam kondisi terkendali tidak berhasil.



Gambar 4. 9 *Drifting collision for internal vessel scenario 2*

Urutan Kejadian yang diskenarioikan adalah sebagai berikut:

1. Kapal adalah kapal yang hendak menuju Pelabuhan Babo
2. Terjadi kegagalan pada sistem navigasi kapal, yaitu kegagalan mendeteksi adanya platform yang diakibatkan karena; kegagalan mentransmisikan sinyal pada platform radar beacon atau kegagalan radar kapal mendeteksi platform
3. Kegagalan kontrol kapal akibat kemungkinan dua hal; human error atau kegagalan sistem navigasi seperti dijelaskan pada poin (2).

4. Pada saat kapal kehilangan kendali angin dan gelombang laut menyebabkan kapal terbawa arus sehingga menubruk platform dengan sisi samping kapal
5. Tubrukan antara kapal dan platform yang terjadi karena kapal sudah berada dekat pada area terlarang 500 meter.

4.2.9. Visiting Vessel Scenario

Jenis kapal yang memiliki keperluan di platform adalah offshore supply vessel (OSV) dan multi purpose support vessel (MPSV). Pada saat operasional, diperkirakan ada sebanyak 10 kali kunjungan per tahun kapal OSV dengan keperluan inspeksi rutin. Sedangkan untuk MPSV, diperkirakan ada kunjungan dalam rentang waktu tiga minggu per kunjungan.

Tubrukan antara *visiting vessel* dan instalasi lepas pantai merupakan salah satu kasus yang sering terjadi, dikarenakan memang keterkaitan aktivitas yang sangat erat antara dua obyek tersebut. Tubrukan *visiting vessel* sangat dipengaruhi oleh proses *maneuvering* dan ukuran kapal serta instalasi *platform*.

4.3. Perhitungan Frekuensi Skenario Tubrukan

Setiap jenis kapal memiliki tujuan, aktivitas, dan arah pelayaran yang berbeda-beda. Karakteristik kapal tersebut harus dipertimbangkan dalam memodelkan skenario tubrukan guna menghitung frekuensi kejadian tubrukan. Pada sub-bab ini akan dijelaskan secara rinci perhitungan frekuensi kejadian tubrukan kapal dengan *platform*, serta penjelasan dari faktor-faktor penyebab tubrukan.

Nilai probabilitas kegagalan dari peralatan yang ada di kapal dihitung sebagai berikut:

$$Q = 1 - R$$

$$Q = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = 1/MTBF$$

Dimana λ merupakan nilai laju kegagalan peralatan. Untuk peralatan elektronik, nilai (t) diambil selama satu tahun, atau 24 jam selama 365 hari. Hal ini mengasumsikan bahwa inspeksi untuk peralatan elektronik seperti radar dan radio navigasi diinspeksi setahun sekali. Pada sistem propulsi diambil (t) juga diambil nilai satu tahun karena memperhatikan perbaikan bantalan poros, yang mana bantalan poros dianggap sebagai komponen kritis karena selain cukup kompleks dalam proses perbaikannya, juga tidak memiliki jadwal perawatan yang rutin. Nilai daripada laju kegagalan diambil dari Tabel berikut:

Tabel 4. 2 Laju kegagalan

<i>No</i>	<i>Equipments</i>	<i>Failure Rate</i>
1.	<i>Shafting Equipments</i>	<i>4.22 E-6</i>
2.	<i>Radar Rotating Motor</i>	<i>3.72 E-7</i>
3.	<i>Diode (Radar Beacon)</i>	<i>9.58 E-8</i>

Pada Tabel diatas nilai laju kegagalan dihitung berdasarkan beberapa referensi. Berdasarkan Young, 2003, nilai MTBF dari sistem perporosan adalah 236900 jam kerja.

Radar bekerja dengan konsep memancarkan sinyal dan menerima pantulan sinyal dari segala arah. Karena itu, motor listrik pada pemancar sinyal radar merupakan komponen kritis yang harus diperhatikan, terutama karena motor merupakan komponen yang sifatnya bergerak terus-

menerus. Laju kegagalan motor listrik dihitung sebagai berikut:

$$\lambda = \lambda_b \pi_S \pi_N \pi_E$$

Dimana,

$$\lambda_b = \text{base failure rate} = 0.0088 \times 10^{-6}$$

$$\pi_S = \text{size factor}$$

$$\pi_N = \text{number of brushes}$$

$$\pi_E = \text{environment factor for marine use} = 7$$

Dioda merupakan komponen utama yang memiliki fungsi pemancar sinyal pada *radar beacon*. Laju kegagalan dioda dihitung sebagai berikut:

$$\lambda = \lambda_b \pi_T \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E$$

Dimana,

$$\lambda_b = \text{base failure rate} = 0.0038 \times 10^{-6}$$

$$\pi_T = \text{temperature factor} = 1.4 \text{ asumsi suhu } 35^\circ\text{C}$$

$$\pi_S = \text{electric stress factor} = 1$$

$$\pi_C = \text{construction factor} = 2, \text{ non metallurgically bonded}$$

$$\pi_Q = \text{quality factor} = 1$$

$$\pi_E = \text{environment factor for marine use} = 9$$

Dasar terperinci penentuan nilai laju kegagalan dapat dilihat pada lampiran A (*Department of Defense of USA, Reliability Prediction of Electronic Equipment, 1991*).

Platform radar beacon failure. Kegagalan pada alat pemancar sinyal radio yang terpasang di *platform*, akan menyebabkan kapal tidak dapat mendeteksi keberadaan *platform*. Dengan begitu terdapat kemungkinan kapal

berlayar menuju daerah terlarang radius 500 meter dari *platform*.

Ship radar failure. Kegagalan pada radar kapal menyebabkan kapal tidak dapat mendeteksi obyek disekitarnya, termasuk *platform* yang terdampak risiko. Dengan begitu terdapat kemungkinan kapal berlayar menuju daerah terlarang radius 500 meter dari *platform*.

Navigation system failure. Kegagalan sistem navigasi adalah kegagalan yang bisa terjadi karena satu diantara dua hal, yaitu kegagalan pada *platform radar beacon* atau kegagalan pada radar kapal. Dengan begitu terdapat kemungkinan kapal berlayar menuju daerah terlarang radius 500 meter dari *platform*.

Human error. *Human error* adalah faktor kesalahan yang diakibatkan oleh operator, dalam hal ini awak kapal. Mengukur *human error* pada dasarnya sangat relatif tergantung berbagai macam sudut pandang. Karena itu pada setiap melakukan suatu pekerjaan, terdapat standar prosedur operasi (SOP) tertentu yang harus dilakukan.

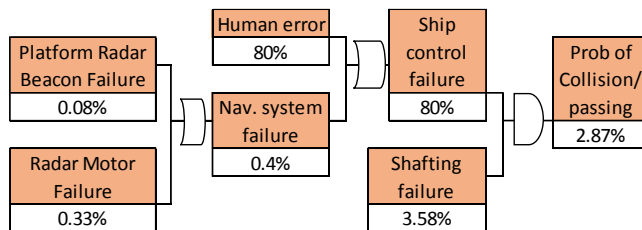
Ship control failure. Kegagalan kontrol kapal disebabkan satu diantara dua hal, *human error* atau kegagalan sistem navigasi dalam memperkirakan jarak aman antara kapal dan *platform*. Dengan begitu terdapat kemungkinan kapal berlayar menuju daerah terlarang radius 500 meter dari *platform*.

Propulsion system failure. Pada saat kapal mendekati daerah terlarang radius 500 meter dari *platform*, diakibatkan urutan kejadian yang telah diskeariokan sebelumnya, kapal akan benar-benar bertubrukan dengan *platform* bilamana terjadi kegagalan pada sistem propulsi. Kegagalan yang dimaksud adalah awak kapal tidak bisa menghentikan laju kapal ke arah *platform* dengan merubah arah putaran mesin.

4.3.1. External Passing Vessel Collision Scenario 1

Jenis kapal pada skenario berikut adalah *passenger vessel* dan *fishing vessel*. Total *traffic* kedua jenis kapal tersebut saat ini adalah 1152 kapal per tahun. Dengan kata lain untuk waktu sekarang, terdapat 2304 kali kapal yang melintasi *platform* tersebut. Perhitungan frekuensi tubrukan kapal memperhatikan faktor penambahan jumlah kapal yang ada setiap tahunnya. Nilai pertumbuhan *traffic* kapal diambil 5% per tahun. Selain itu perhitungan ini juga mempertimbangkan disain fasilitas yang dirancang untuk beroperasi selama 25 tahun.

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung probabilitas tubrukan dari setiap kapal yang melintas. Untuk *head-on collision* dapat digunakan diagram *fault tree analysis* sebagai berikut.



Gambar 4. 10 Fault tree analysis for external passing vessel scenario 1

Navigation system failure. Antara *platform radar beacon failure* dan *ship radar failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan persamaan 2.30 (*occurrence of at least one of two events*).

Ship control failure. Antara *human error* dan *navigation system failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan persamaan 2.30 (*occurrence of at least one of two events*).

Probability of collision per ship passing. Antara *ship control failure* dan *propulsion system failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, dan dibutuhkan kedua terjadi agar skenario tubrukan kapal menjadi mungkin. Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan persamaan 2.31 (*simultaneous occurrence of events*).

Annual passing vessel. Jumlah kapal yang melintas pertahun diperkirakan mengalami kenaikan sebesar 5% setiap tahunnya selama 25 tahun.

Lembar perhitungan *external passing vessel collision frequency* dapat dilihat pada Tabel 4.3. perhitungan tersebut selain mengakomodir perhitungan frekuensi tahunan, juga mengakumulasi hasil perhitungan selama 25 tahun. Dari hasil perhitungan tersebut didapat frekuensi tubrukan yang bisa terjadi dalam 25 tahun waktu operasi. Dari hasil tersebut didapatkan frekuensi tubrukan tahunan mulai lima tahun pertama sampai lima tahun terakhir berturut-turut adalah 0.385, 0.462, 0.539, 0.616 dan 0.693.

Tabel 4. 3 *External Pass. Vessel Calculation Scenario 1*

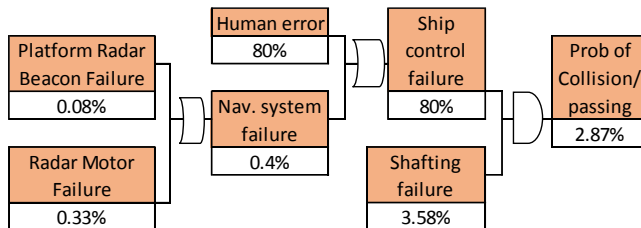
This calculation is done for 25 years lifetime of platform, by considering traffic increment by 5% per year		1 st five year	2 nd five year	3 th five year	4 th five year	5 th five year
A	Platform Radar Beacon Failure	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%
B	Radar Motor Failure	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%
C	Nav System Failure = $1-(1-A)(1-B)$	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%
D	Human error	80%	80%	80%	80%	80%
E	Ship Control Failure = $1-(1-C)(1-D)$	80.1%	80.1%	80.1%	80.1%	80.1%
F	Shafting failure	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%
G	Prob. Of Collission/passing = $C \times E \times F$	2.87%	2.87%	2.87%	2.87%	2.87%
H	Annual Passing Vessel	2880	3456	4032	4608	5184
I	Collision Diameter = length of platform + width of passing Vessel	40	40	40	40	40
J	standard deviation in meter	1709	1709	1709	1709	1709
K	$f(A) = (0.5)\exp(-k^2/2)/J$	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
L	$k = \text{distance}/\text{standard deviation}$	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
M	$F_d = \text{proportion of passing vessel crash toward platform} = K \times I$	0.47%	0.47%	0.47%	0.47%	0.47%
N	Distance between Centerlane and platform	2320	2320	2320	2320	2320
O	Width of Shipping Lane (m)	1709	1709	1709	1709	1709
P	Annual Frequency of Collision = $G \times H \times M$	0.385	0.462	0.539	0.616	0.693

4.3.2. External Passing Vessel Collision Scenario 2

Jenis kapal pada skenario berikut adalah *passenger vessel* dan *fishing vessel*. Total *traffic* kedua jenis kapal tersebut saat ini adalah 1152 kapal per tahun. Dengan kata lain untuk waktu sekarang, terdapat 2304 kali kapal yang melintasi *platform* tersebut. Perhitungan frekuensi tubrukan kapal memperhatikan faktor penambahan jumlah kapal yang ada setiap tahunnya. Nilai pertumbuhan *traffic* kapal diambil 5% per tahun. Selain itu perhitungan ini juga

mempertimbangkan disain fasilitas yang dirancang untuk beroperasi selama 25 tahun.

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung probabilitas tubrukan dari setiap kapal yang melintas. Untuk *head-on collision* dapat digunakan diagram *fault tree analysis* sebagai berikut.



Gambar 4. 11 *Fault tree analysis for external passing vessel scenario 2*

Navigation system failure. Antara *platform radar beacon failure* dan *ship radar failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *occurrence of at least one of two events*.

Ship control failure. Antara *human error* dan *navigation system failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *occurrence of at least one of two events*.

Tabel 4. 4 *External Pass. Vessel Calculation Scenario 2*

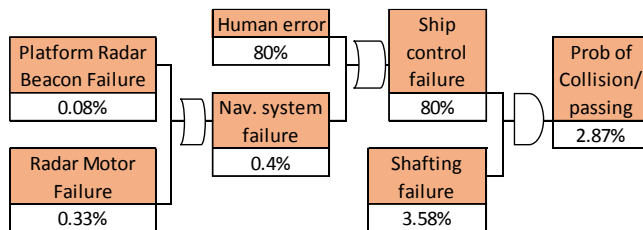
This calculation is done for 25 years lifetime of platform, by considering traffic increment by 5% per year		1 st five year	2 nd five year	3 th five year	4 th five year	5 th five year
A	Platform Radar Beacon Failure	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%
B	Radar Motor Failure	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%
C	Nav System Failure = $1 - (1-A)(1-B)$	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%
D	Human error	80%	80%	80%	80%	80%
E	Ship Control Failure = $1 - (1-C)(1-D)$	80.1%	80.1%	80.1%	80.1%	80.1%
F	Shafting failure	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%
G	Prob. Of Collision/passing = $C \times E \times F$	2.87%	2.87%	2.87%	2.87%	2.87%
H	Annual Passing Vessel	2880	3456	4032	4608	5184
I	Collision Diameter = length of platform + width of passing Vessel	40	40	40	40	40
J	standard deviation in meter	2333	2333	2333	2333	2333
K	$f(A) = (0.5)\exp(-k^2/2)/J$	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
L	$k = \text{distance}/\text{standard deviation}$	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62
M	$F_d = \text{proportion of passing vessel crash toward platform} = K \times I$	0.23%	0.23%	0.23%	0.23%	0.23%
N	Distance between Centerlane and platform	3789	3789	3789	3789	3789
O	Width of Shipping Lane (m)	2333	2333	2333	2333	2333
P	Annual Frequency of Collision = $G \times H \times M$	0.190	0.227	0.265	0.303	0.341

Annual passing vessel. Jumlah kapal yang melintas pertahun diperkirakan mengalami kenaikan sebesar 5% setiap tahunnya selama 25 tahun.

Lembar perhitungan frekuensi tubrukan dapat dilihat pada Tabel 4.4. perhitungan tersebut selain mengakomodir perhitungan frekuensi tahunan, juga mengakumulasi hasil perhitungan selama 25 tahun. Dari hasil perhitungan tersebut didapat frekuensi tubrukan yang bisa terjadi dalam 25 tahun waktu operasi. Dan tersebut didapatkan frekuensi tubrukan tahunan mulai lima tahun pertama sampai lima tahun terakhir berturut-turut adalah 0.19, 0.227, 0.265, 0.303 dan 0.341.

4.3.3. Internal Passing Vessel Collision Scenario 1

Jenis kapal pada skenario berikut adalah LNG *Tanker*, *Condensate Tanker*, dan *General Cargo*. Total *traffic* kedua jenis kapal tersebut saat ini adalah 232 kapal per tahun. Dengan kata lain untuk waktu sekarang, terdapat 464 kali kapal yang melintasi *platform* tersebut. Perhitungan frekuensi tubrukan kapal memperhatikan faktor penambahan jumlah kapal yang ada setiap tahunnya. Nilai pertumbuhan *traffic* kapal diambil 5% per tahun. Selain itu perhitungan ini juga mempertimbangkan disain fasilitas yang dirancang untuk beroperasi selama 25 tahun.



Gambar 4. 12 Fault tree analysis for internal passing vessel scenario 1

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung probabilitas tubrukan dari setiap kapal yang melintas. Untuk *head-on collision* dapat digunakan diagram *fault tree analysis* sebagai berikut.

Navigation system failure. Antara *platform radar beacon failure* dan *ship radar failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini

berdasarkann sifat *occurrence of at least one of two events*.

Ship control failure. Antara *human error* dan *navigation system failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkann sifat *occurrence of at least one of two events*.

Probability of collission per ship passing. Antara *ship control failure* dan *propulsion system failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, dan dibutuhkan kedua terjadi agar skenario tubrukan kapal menjadi mungkin. Moda perhitungan kejadian ini berdasarkann sifat *simultaneous occurrence of events*.

Annual passing vessel. Jumlah kapal yang melintas pertahun diperkirakan mengalami kenaikan sebesar 5% setiap tahunnya selama 25 tahun.

Lembar perhitungan frekuensi tubrukan dapat dilihat pada Tabel 4.5. perhitungan tersebut selain mengakomodir perhitungan frekuensi tahunan, juga mengakumulasi hasil perhitungan selama 25 tahun. Dari hasil perhitungan tersebut didapat frekuensi tubrukan yang bisa terjadi dalam 25 tahun waktu operasi. Dan tersebut didapatkan frekuensi tubrukan tahunan mulai lima tahun pertama sampai lima tahun terakhir berturut-turut adalah 0.073, 0.087, 0.102, 0.116 dan 0.131.

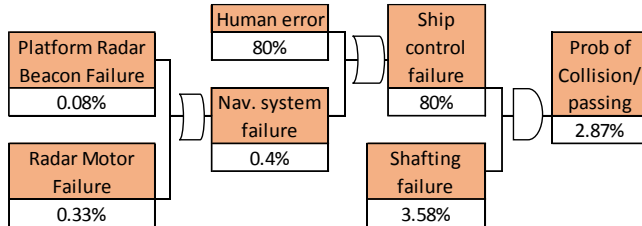
Tabel 4. 5 *Internal Pass. Vessel Calculation Scenario 1*

This calculation is done for 25 years lifetime of platform, by considering traffic increment by 5% per year		1 st five year	2 nd five year	3 th five year	4 th five year	5 th five year
A	Platform Radar Beacon Failure	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%
B	Radar Motor Failure	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%
C	Nav System Failure = $1-(1-A)(1-B)$	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%
D	Human error	80%	80%	80%	80%	80%
E	Ship Control Failure = $1-(1-C)(1-D)$	80.1%	80.1%	80.1%	80.1%	80.1%
F	Shafting failure	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%
G	Prob. Of Collision/passing = $CxExF$	2.87%	2.87%	2.87%	2.87%	2.87%
H	Annual Passing Vessel	580	696	812	928	1044
I	Collision Diameter = length of platform + width of passing Vessel	76	76	76	76	76
J	standard deviation in meter	2333	2333	2333	2333	2333
K	$f(A) = (0.5)\exp(-k^2/2)/J$	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
L	$k = \text{distance}/\text{standard deviation}$	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62
M	$Fd = \text{proportion of passing vessel crash toward platform} = K \times I$	0.44%	0.44%	0.44%	0.44%	0.44%
N	Distance between Centerlane and platform	3789	3789	3789	3789	3789
O	Width of Shipping Lane (m)	2333	2333	2333	2333	2333
P	Annual Frequency of Collision = $GxHxM$	0.073	0.087	0.102	0.116	0.131

4.3.4. Internal Passing Vessel Collision Scenario 2

Jenis kapal pada skenario berikut adalah *Landing Craft Vessel*, *Offshore Supply Vessel*, dan *Multi Purpose Support Vessel*. Total *traffic* kedua jenis kapal tersebut saat ini adalah 128 kapal per tahun. Dengan kata lain untuk waktu sekarang, terdapat 256 kali kapal yang melintasi *platform* tersebut. Perhitungan frekuensi tubrukan kapal memperhatikan faktor penambahan jumlah kapal yang ada setiap tahunnya. Nilai pertumbuhan *traffic* kapal diambil 5% per tahun. Selain itu perhitungan ini juga mempertimbangkan disain fasilitas yang dirancang untuk beroperasi selama 25 tahun.

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung probabilitas tubrukan dari setiap kapal yang melintas. Untuk *head-on collision* dapat digunakan diagram *fault tree analysis* sebagai berikut.



Gambar 4. 13 *Fault tree analysis for internal passing vessel scenario 2*

Navigation system failure. Antara *platform radar beacon failure* dan *ship radar failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *occurrence of at least one of two events*.

Ship control failure. Antara *human error* dan *navigation system failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *occurrence of at least one of two events*.

Probability of collision per ship passing. Antara *ship control failure* dan *propulsion system failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, dan dibutuhkan kedua

terjadi agar skenario tubrukan kapal menjadi mungkin. Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *simultaneous occurrence of events*.

Tabel 4. 6 *Internal Pass. Vessel Calculation Scenario 2*

This calculation is done for 25 years lifetime of platform, by considering traffic increment by 5% per year		1 st five year	2 nd five year	3 th five year	4 th five year	5 th five year
A	Platform Radar Beacon Failure	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%
B	Radar Motor Failure	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%
C	Nav System Failure = $1 - (1 - A)(1 - B)$	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%
D	Human error	80%	80%	80%	80%	80%
E	Ship Control Failure = $1 - (1 - C)(1 - D)$	80%	80%	80%	80%	80%
F	Shafting failure	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%
G	Prob. Of Collision/passing = $C \times E \times F$	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%
H	Annual Passing Vessel	320	384	448	512	576
I	Collision Diameter = length of platform + width of passing Vessel	54.4	54.4	54.4	54.4	54.4
J	standard deviation in meter	2046	2046	2046	2046	2046
K	$f(A) = (0.5)\exp(-k^2/2)/J$	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
L	$k = \text{distance}/\text{standard deviation}$	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
M	$F_d = \text{proportion of passing vessel crash toward platform} = K \times I$	0.68%	0.68%	0.68%	0.68%	0.68%
N	Distance between Centerlane and platform	2371	2371	2371	2371	2371
O	Width of Shipping Lane (m)	2046	2046	2046	2046	2046
P	Annual Frequency of Collision = $G \times H \times M$	0.062	0.075	0.087	0.100	0.112

Annual passing vessel. Jumlah kapal yang melintas pertahun diperkirakan mengalami kenaikan sebesar 5% setiap tahunnya selama 25 tahun.

Lembar perhitungan frekuensi tubrukan dapat dilihat pada Tabel 4.6. perhitungan tersebut selain mengakomodir perhitungan frekuensi tahunan, juga mengakumulasi hasil perhitungan selama 25 tahun. Dari hasil perhitungan tersebut didapat frekuensi tubrukan yang bisa terjadi dalam 25 tahun waktu

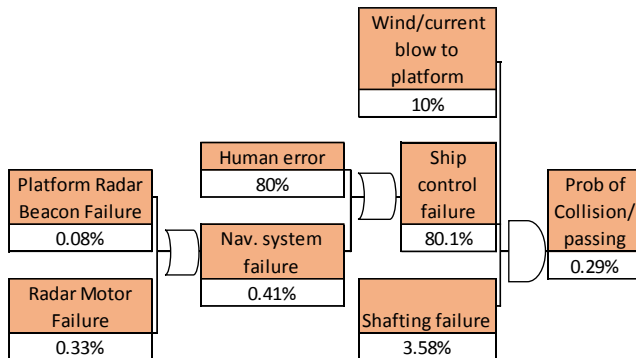
operasi. Dan tersebut didapatkan frekuensi tubrukan tahunan mulai lima tahun pertama sampai lima tahun terakhir berturut-turut adalah 0.062, 0.075, 0.087, 0.100 dan 0.112.

4.3.5. *Drifting Collission for External Vessel Scenario 1*

Jenis kapal pada skenario berikut adalah *passenger vessel* dan *fishing vessel*. Total *traffic* kedua jenis kapal tersebut saat ini adalah 1152 kapal per tahun. Dengan kata lain untuk waktu sekarang, terdapat 2304 kali kapal yang melintasi *platform* tersebut. Perhitungan frekuensi tubrukan kapal memperhatikan faktor penambahan jumlah kapal yang ada setiap tahunnya. Nilai pertumbuhan *traffic* kapal diambil 5% per tahun. Selain itu perhitungan ini juga mempertimbangkan disain fasilitas yang dirancang untuk beroperasi selama 25 tahun.

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung probabilitas tubrukan dari setiap kapal yang melintas. Untuk *drifting collission* dapat digunakan diagram *fault tree analysis* sebagai berikut.

Navigation system failure. Antara *platform radar beacon failure* dan *ship radar failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *occurrence of at least one of two events*.



Gambar 4. 14 Fault tree analysis for drifting external vessel scenario 1

Ship control failure. Antara *human error* dan *navigation system failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *occurrence of at least one of two events*.

Probability of collision per ship passing.

Antara *ship control failure* dan *propulsion system failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, dan dibutuhkan kedua terjadi agar skenario tubrukan kapal menjadi mungkin. Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *simultaneous occurrence of events*.

Annual passing vessel. Jumlah kapal yang melintas pertahun diperkirakan mengalami kenaikan sebesar 5% setiap tahunnya selama 25 tahun.

Probability of wind or current drift the ship toward platform. Untuk skenario *drifting collision*, hal tersebut dapat terjadi jika pada saat kapal kehilangan kontrol, kemudian terdapat arus ataupun angin yang

membuat kapal terbawa menuju dan bertubrukan dengan *platform*.

Tabel 4. 7 *Drifting External Vessel Scenario 1*

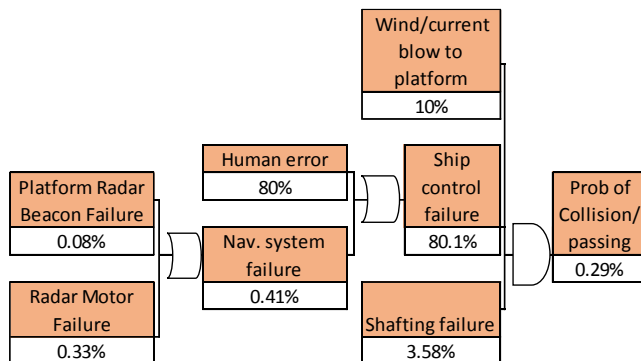
This calculation is done for 25 years lifetime of platform, by considering traffic increment by 5% per year		1 st five year	2 st five year	3 st five year	4 st five year	5 st five year
A	Platform Radar Beacon Failure	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%
B	Radar Motor Failure	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%
C	Nav. system failure	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%
D	Human error	80%	80%	80%	80%	80%
E	Ship control failure	80.1%	80.1%	80.1%	80.1%	80.1%
F	Shafting failure	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%
G	Probability of Collision per passing vessel	0.29%	0.29%	0.29%	0.29%	0.29%
H	Annual Passing Vessel	2880	3456	4032	4608	5184
I	Collision Diameter = length of platform + width of passing Vessel	40	40	40	40	40
J	Probability of wind/current toward platform	10%	10%	10%	10%	10%
K	Width of Collision Lane (m)	1122	1122	1122	1122	1122
L	Prob of Vessel inside Collision Lane	3.57%	3.57%	3.57%	3.57%	3.57%
M	Annual Frequency of Collision	0.295	0.354	0.413	0.472	0.530

Lembar perhitungan frekuensi tubrukan dapat dilihat pada Tabel 4.7. perhitungan tersebut selain mengakomodir perhitungan frekuensi tahunan, juga mengakumulasi hasil perhitungan selama 25 tahun. Dari hasil perhitungan tersebut didapat frekuensi tubrukan yang bisa terjadi dalam 25 tahun waktu operasi. Dan tersebut didapatkan frekuensi tubrukan tahunan mulai lima tahun pertama sampai lima tahun terakhir berturut-turut adalah 0.295, 0.354, 0.413, 0.472 dan 0.530.

4.3.6. Drifting Collision for External Vessel Scenario 2

Jenis kapal pada skenario berikut adalah *passenger vessel* dan *fishing vessel*. Total *traffic* kedua jenis kapal tersebut saat ini adalah 1152 kapal per tahun. Dengan kata lain untuk waktu sekarang, terdapat 2304 kali kapal yang melintasi *platform* tersebut. Perhitungan frekuensi tubrukan kapal memperhatikan faktor penambahan jumlah kapal yang ada setiap tahunnya. Nilai pertumbuhan *traffic* kapal diambil 5% per tahun. Selain itu perhitungan ini juga mempertimbangkan disain fasilitas yang dirancang untuk beroperasi selama 25 tahun.

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung probabilitas tubrukan dari setiap kapal yang melintas. Untuk *drifting collision* dapat digunakan diagram *fault tree analysis* sebagai berikut.



Gambar 4. 15 *Fault tree analysis for drifting external vessel scenario 2*

Navigation system failure. Antara *platform radar beacon failure* dan *ship radar failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal

mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *occurrence of at least one of two events*.

Ship control failure. Antara *human error* dan *navigation system failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *occurrence of at least one of two events*.

Probability of collision per ship passing. Antara *ship control failure* dan *propulsion system failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, dan dibutuhkan kedua kejadian agar skenario tubrukan kapal menjadi mungkin. Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *simultaneous occurrence of events*.

Annual passing vessel. Jumlah kapal yang melintas pertahun diperkirakan mengalami kenaikan sebesar 5% setiap tahunnya selama 25 tahun.

Probability of wind or current drift the ship toward platform. Untuk skenario *drifting collision*, hal tersebut dapat terjadi jika pada saat kapal kehilangan kontrol, kemudian terdapat arus ataupun angin yang membuat kapal terbawa menuju dan bertubrukan dengan *platform*.

Tabel 4. 8 *Drifting External Vessel Scenario 2*

This calculation is done for 25 years lifetime of platform, by considering traffic increment by 5% per year		1 st five year	2 st five year	3 st five year	4 st five year	5 st five year
A	Platform Radar Beacon Failure	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%
B	Radar Motor Failure	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%
C	Nav. system failure	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%
D	Human error	80%	80%	80%	80%	80%
E	Ship control failure	80.1%	80.1%	80.1%	80.1%	80.1%
F	Shafting failure	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%
G	Probability of Collision per passing vessel	0.29%	0.29%	0.29%	0.29%	0.29%
H	Annual Passing Vessel	2880	3456	4032	4608	5184
I	Collision Diameter = length of platform + width of passing Vessel	40	40	40	40	40
J	Probability of wind/current toward platform	10%	10%	10%	10%	10%
K	Width of Collision Lane (m)	1064	1064	1064	1064	1064
L	Prob of Vessel inside Collision Lane	3.76%	3.76%	3.76%	3.76%	3.76%
M	Annual Frequency of Collision	0.311	0.373	0.435	0.497	0.559

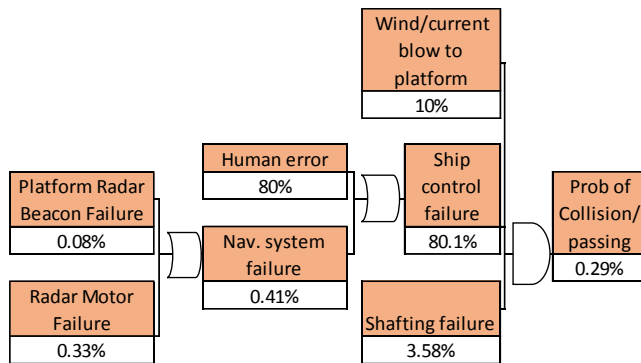
Lembar perhitungan frekuensi tubrukan dapat dilihat pada Tabel 4.8. perhitungan tersebut selain mengakomodir perhitungan frekuensi tahunan, juga mengakumulasi hasil perhitungan selama 25 tahun. Dari hasil perhitungan tersebut didapat frekuensi tubrukan yang bisa terjadi dalam 25 tahun waktu operasi. Dan tersebut didapatkan frekuensi tubrukan tahunan mulai lima tahun pertama sampai lima tahun terakhir berturut-turut adalah 0.311, 0.373, 0.435, 0.497 dan 0.559.

4.3.7. *Drifting Collision for Internal Vessel Scenario 1*

Jenis kapal pada skenario berikut adalah LNG Tanker, Condensate Tanker, dan General Cargo. Total traffic kedua jenis kapal tersebut saat ini adalah 232 kapal per tahun. Dengan kata lain untuk waktu

sekarang, terdapat 464 kali kapal yang melintasi *platform* tersebut. Perhitungan frekuensi tubrukan kapal memperhatikan faktor penambahan jumlah kapal yang ada setiap tahunnya. Nilai pertumbuhan *traffic* kapal diambil 5% per tahun. Selain itu perhitungan ini juga mempertimbangkan disain fasilitas yang dirancang untuk beroperasi selama 25 tahun.

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung probabilitas tubrukan dari setiap kapal yang melintas. Untuk *drifting collision* dapat digunakan diagram *fault tree analysis* sebagai berikut.



Gambar 4. 16 *Fault tree analysis for drifting internal vessel scenario 1*

Navigation system failure. Antara *platform radar beacon failure* dan *ship radar failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *occurrence of at least one of two events*.

Ship control failure. Antara *human error* dan *navigation system failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *occurrence of at least one of two events*.

Probability of collision per ship passing. Antara *ship control failure* dan *propulsion system failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, dan dibutuhkan kedua terjadi agar skenario tubrukan kapal menjadi mungkin. Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *simultaneous occurrence of events*.

Annual passing vessel. Jumlah kapal yang melintas pertahun diperkirakan mengalami kenaikan sebesar 5% setiap tahunnya selama 25 tahun.

Probability of wind or current drift the ship toward platform. Untuk skenario *drifting collision*, hal tersebut dapat terjadi jika pada saat kapal kehilangan kontrol, kemudian terdapat arus ataupun angin yang membuat kapal terbawa menuju dan bertubrukan dengan *platform*.

Lembar perhitungan frekuensi tubrukan dapat dilihat pada Tabel 4.9. perhitungan tersebut selain mengakomodir perhitungan frekuensi tahunan, juga mengakumulasi hasil perhitungan selama 25 tahun. Dari hasil perhitungan tersebut didapat frekuensi tubrukan yang bisa terjadi dalam 25 tahun waktu operasi. Dan tersebut didapatkan frekuensi tubrukan tahunan mulai lima tahun pertama sampai lima tahun terakhir berturut-turut adalah 0.119, 0.143, 0.166, 0.190 dan 0.214.

Tabel 4. 9 *Drifting Internal Vessel Scenario 1*

This calculation is done for 25 years lifetime of platform, by considering traffic increment by 5% per year		1 st five year	2 st five year	3 st five year	4 st five year	5 st five year
A	Platform Radar Beacon Failure	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%
B	Radar Motor Failure	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%
C	Nav. system failure	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%
D	Human error	80%	80%	80%	80%	80%
E	Ship control failure	80.1%	80.1%	80.1%	80.1%	80.1%
F	Shafting failure	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%
G	Probability of Collision per passing vessel	0.29%	0.29%	0.29%	0.29%	0.29%
H	Annual Passing Vessel	580	696	812	928	1044
I	Collision Diameter = length of platform + width of passing Vessel	76	76	76	76	76
J	Probability of wind/current toward platform	10%	10%	10%	10%	10%
K	Width of Collision Lane (m)	1064	1064	1064	1064	1064
L	Prob of Vessel inside Collision Lane	7.14%	7.14%	7.14%	7.14%	7.14%
M	Annual Frequency of Collision	0.119	0.143	0.166	0.190	0.214

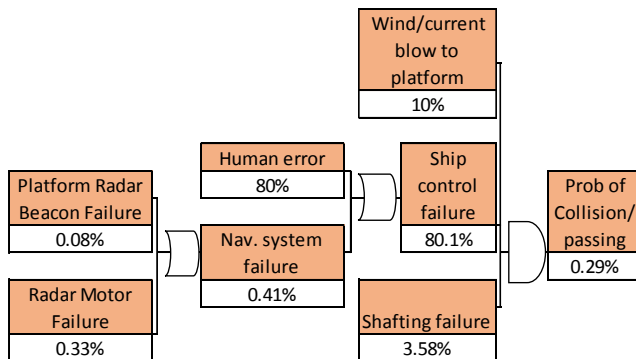
4.3.8. *Drifting Collision for Internal Vessel Scenario 2*

Jenis kapal pada skenario berikut adalah *Landing Craft Vessel*, *Offshore Supply Vessel*, dan *Multi Purpose Support Vessel*. Total *traffic* kedua jenis kapal tersebut saat ini adalah 128 kapal per tahun. Dengan kata lain untuk waktu sekarang, terdapat 256 kali kapal yang melintasi *platform* tersebut. Perhitungan frekuensi tubrukan kapal memperhatikan faktor penambahan jumlah kapal yang ada setiap tahunnya. Nilai pertumbuhan *traffic* kapal diambil 5% per tahun. Selain itu perhitungan ini juga mempertimbangkan disain fasilitas yang dirancang untuk beroperasi selama 25 tahun.

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung probabilitas tubrukan dari setiap kapal

yang melintas. Untuk *drifting collision* dapat digunakan diagram *fault tree analysis* sebagai berikut.

Navigation system failure. Antara *platform radar beacon failure* dan *ship radar failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *occurrence of at least one of two events*.



Gambar 4. 17 *Fault tree analysis for drifting internal vessel scenario 2*

Ship control failure. Antara *human error* dan *navigation system failure* merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, namun dibutuhkan hanya satu dari dua dua kejadian tersebut terjadi, sehingga kapal mengalami kegagalan kontrol navigasi (*navigation system failure*). Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *occurrence of at least one of two events*.

Probability of collision per ship passing. Antara *ship control failure* dan *propulsion system*

failure merupakan dua kejadian bebas yang keduanya bisa terjadi pada saat bersamaan, dan dibutuhkan kedua terjadi agar skenario tubrukan kapal menjadi mungkin. Moda perhitungan kejadian ini berdasarkan sifat *simultaneous occurrence of events*.

Annual passing vessel. Jumlah kapal yang melintas pertahun diperkirakan mengalami kenaikan sebesar 5% setiap tahunnya selama 25 tahun.

Probability of wind or current drift the ship toward platform. Untuk skenario *drifting collision*, hal tersebut dapat terjadi jika pada saat kapal kehilangan kontrol, kemudian terdapat arus ataupun angin yang membuat kapal terbawa menuju dan bertubrukan dengan *platform*.

Tabel 4. 10 *Drifting Internal Vessel Scenario 2*

This calculation is done for 25 years lifetime of platform, by considering traffic increment by 5% per year		1 st five year	2 st five year	3 st five year	4 st five year	5 st five year
A	Platform Radar Beacon Failure	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%
B	Radar Motor Failure	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%	0.33%
C	Nav. system failure	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%
D	Human error	80%	80%	80%	80%	80%
E	Ship control failure	80.1%	80.1%	80.1%	80.1%	80.1%
F	Shafting failure	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%	3.58%
G	Probability of Collision per passing vessel	0.29%	0.29%	0.29%	0.29%	0.29%
H	Annual Passing Vessel	320	384	448	512	576
I	Collision Diameter = length of platform + width of passing Vessel	54.4	54.4	54.4	54.4	54.4
J	Probability of wind/current toward platform	10%	10%	10%	10%	10%
K	Width of Collision Lane (m)	879	879	879	879	879
L	Prob of Vessel inside Collision Lane	6.19%	6.19%	6.19%	6.19%	6.19%
M	Annual Frequency of Collision	0.057	0.068	0.080	0.091	0.102

Lembar perhitungan frekuensi tubrukan dapat dilihat pada Tabel 4.10. perhitungan tersebut selain mengakomodir perhitungan frekuensi tahunan, juga mengakumulasi hasil perhitungan selama 25 tahun. Dari hasil perhitungan tersebut didapat frekuensi tubrukan yang bisa terjadi dalam 25 tahun waktu operasi. Dan tersebut didapatkan frekuensi tubrukan tahunan mulai lima tahun pertama sampai lima tahun terakhir berturut-turut adalah 0.057, 0.068, 0.080, 0.091 dan 0.102.

4.3.9. Visiting Vessel Scenario

Jenis kapal yang memiliki keperluan di platform adalah *offshore supply vessel* (OSV) dan *multi purpose support vessel* (MPSV). Pada saat operasional, diperkirakan ada sebanyak 10 kali kunjungan per tahun kapal OSV dengan keperluan inspeksi rutin. Sedangkan untuk MPSV, diperkirakan ada kunjungan dalam rentang waktu tiga minggu per kunjungan atau 17 kali kunjungan per tahun.

Tabel 4. 11 *Visiting vessel frequency (MPSV)*

Multi Purpose Support Vessel					
Maneuvering distance is used as calculation variabel to find out how near the maneuvering distance considerably safe					
D1	Length of Vessel	92.4	92.4	92.4	92.4
D2	Length of Platform	30	30	30	30
L	Distance where maneuvering begins	140	150	160	170
A	Angle of maneuvering (radian)	0.412	0.387	0.365	0.346
	Probability of Collision per visit	0.066	0.062	0.058	0.055
	Annual probability of collision	1.115	1.048	0.988	0.935

Pada perhitungan *visiting vessel frequency* akan dicari jarak aman kapal memulai olah gerak, artinya pada jarak aman berapa kapal harus siap pada kecepatan rendah dan memposisikan diri siap bersandar di *platform*. Pada Tabel 4.10 kasus *MPSV* dapat dilihat bahwa kapal aman memulai olah gerak pada jarak 160 meter dari *platform*. Sedangkan pada Tabel *OSV* Tabel 4.11 kapal aman memulai olah gerak pada jarak 70 meter.

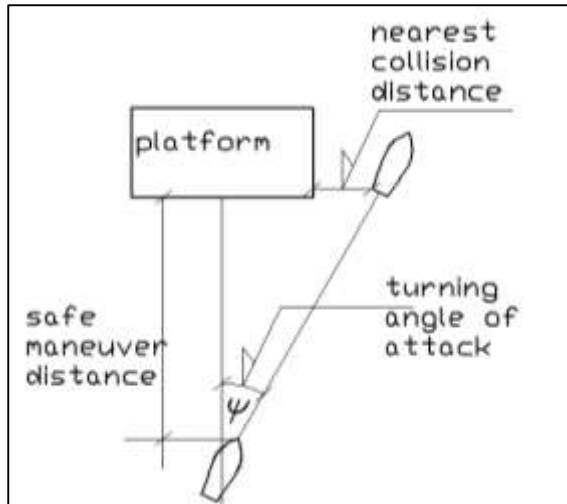
Tabel 4. 12 *Visiting vessel frequency (MPSV)*

Offshore Supply Vessel					
Maneuvering distance is used as calculation variabel to find out how near the maneuvering distance considerably safe					
D1	Length of Vessel	62	62	62	62
D2	Length of Platform	30	30	30	30
L	Distance w here maneuvering begins	50	60	70	80
A	Angle of maneuvering (radian)	0.744	0.654	0.581	0.522
	Probability of Collision per visit	0.118	0.104	0.093	0.083
	Annual probability of collision	1.184	1.041	0.925	0.831

4.3.10. *Potential Area of Water for Maneuvering*

Potential Area of Water for Maneuvering (PAWM) merupakan metode verifikasi terhadap perhitungan *visiting vessel collision*. Metode ini digunakan untuk memverifikasi hasil perhitungan jarak aman kapal bermanuver.

Pertimbangkan sebuah kapal dengan ukuran tertentu yang hendak merapat ke *platform* seperti Gambar berikut.



Gambar 4. 18 *Platform Design*

Perhitungan PAWM dikerjakan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Motora, 1960 menyatakan bahwa kemampuan bermanuver kapal dapat diukur secara kuantitatif dengan besaran konstanta tertentu. Persamaan yang dimaksud adalah sebagai berikut.

$$T \frac{d\theta}{dt} + \theta = K \cdot \delta$$

Dimana,

T, K = Faktor manuverabilitas

δ = Sudut belok *rudder* (deg)

θ = Kecepatan sudut berubah haluan (rad/s)

$$l_p \cdot \theta = V \cdot \psi$$

Dimana,

l_p = Jarak *rudder* ke *center of buoyancy*

V = Kecepatan linier kapal (m/s)

ψ = Perubahan sudut haluan kapal (rad)

Tabel 4. 13 Perhitungan PAWM

Potential Area of Water for Maneuvering Calculation

$$T \frac{d\theta}{dt} + \theta = K \cdot \delta$$

T,K

=

Maneuverability factor

δ

=

Rudder turn angle

θ

=

Angular velocity of ship turning

No	Type of Vessel	Annual Visit	Length (m)
1	Offshore Supply Vessel	10	62
2	Multi Purpose Support Vessel	17	92.4

K	T	δ	dt	θ
0.09	22.9	35	20	1.52 rad/s
0.05	33.6	35	20	0.68 rad/s

$l_p \theta = V \psi$	
l_p	= Distance from rudder turning force to center
θ	= Angular velocity of ship turning
V	= Ship linear velocity
ψ	= Change in angle of attack
Safe distance for OSV	= 80 m
1/2 platform length	= 15 m
nearest collision distance	= 0.08 m
Safe distance for MPSV	= 180 m
1/2 platform length	= 15 m
nearest collision distance	= 0.26 m

Kapal yang hendak merapat ke *platform* haruslah mulai bermanuver dengan mencari jarak aman tertentu sehingga jika kapal merubah haluan pada sudut tertentu, kapal dapat memposisikan diri untuk bersandar dari arah yang tepat. Jika kapal tidak

bermanuver dengan merubah haluan pada sudut tertentu, akan ada kecenderungan terjadinya tubrukan.

4.4. Perhitungan Konsekuensi *Head-on Collision*

Perhitungan konsekuensi tubrukan kapal dengan *platform* mempertimbangkan semua jenis kapal yang berpotensi menubruk *platform*. Pada penelitian ini dianalisa tiga titik kerusakan yang ada di *platform*. Tiga titik tersebut adalah *pile leg*, *brace member*, dan *x-brace member*.

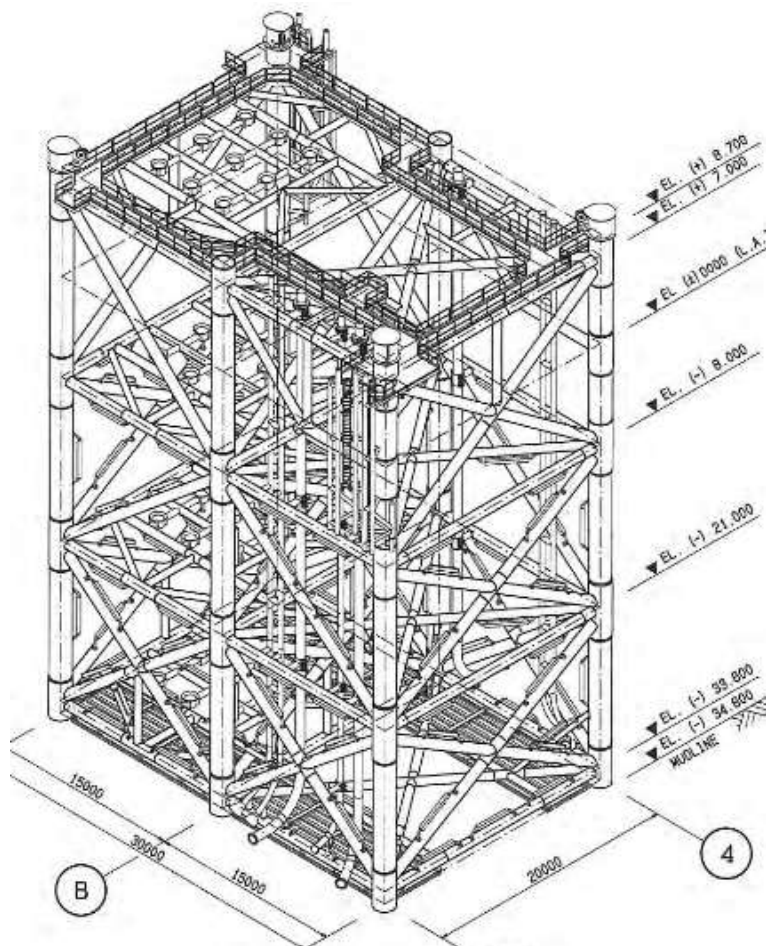
4.4.1. Impak Tubrukan pada *Platform Leg*

Platform leg merupakan struktur penopang beban utama yang ada di *platform*. Kerusakan terparah bisa terjadi jika *platform* kehilangan salah satu dari kaki penopangnya. Oleh sebab itu, analisa dampak tubrukan harus ditekankan pada *platform leg*. Energi impak dihitung menggunakan persamaan 2.1. Contoh perhitungan tubrukan *LNG Tanker* dapat dilihat sebagai berikut:

$$Ek = k \frac{1}{2} mv^2$$

$$Ek = 1.1 \times \frac{1}{2} \times 105.000 \text{ ton} \times (8 \text{ knot})^2$$

$$Ek = 978 \text{ MJ}$$



Gambar 4. 19 *Platform Design*

Berdasarkan persamaan 2.6, maka dapat dihitung seberapa dalam penyok yang terjadi. Perhitungan ini diverifikasi pula oleh persamaan 2.2 dan persamaan 2.4. Hasil yang mirip diberikan oleh persamaan 2.2 dan persamaan 2.6. Berdasarkan hasil studi ini, energi tumbukan yang terserap *platform* adalah sekitar 37%, sementara sisanya dikembalikan ke kapal dan ke lingkungan.

$$E_{\delta} = E_k \cdot 37\% = 14 \cdot m_p \cdot \frac{\delta_d^{1.5}}{\sqrt{t}}$$

$$\delta_d = \left(E_k \cdot 0,37 \cdot \sqrt{t} / 14 \cdot m_p \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\delta_d = \left(978 \cdot 0,37 \cdot \sqrt{0,6} / 14 \times 403,2 \text{ KPa} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\delta_d = 6,27 \text{ meter}$$

$$\delta_d / D = 392\%$$

Pada dasarnya, hasil yang diberikan di atas adalah tidak mungkin. Dengan kata lain, hasil di atas memberikan kesimpulan bahwa struktur tersebut sudah sobek atau *failure* dengan energi impak sebesar 978 MJ. Pada Tabel berikut, dicantumkan lembar perhitungan energi impak yang sudah dilakukan.

Akan ada sejumlah energi impak yang terserap oleh *inner concrete pile* jika *dent* yang disebabkan oleh tubrukan melebihi gap maksimum antara *steel leg* dan *inner concrete leg*. Besarnya impak energi yang dapat

terserap oleh *inner concrete leg* dihitung sebagai berikut:

$$E = Yb \frac{4}{3} \sqrt{D \cdot x^3}$$

$$E = 120 \times 0.69 \times \frac{4}{3} \sqrt{1.37 \times 0.038^3}$$

$$E = 0.0952 \text{ MJ}$$

Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.14. Pada impak energi tertentu, struktur sudah tidak dapat lagi menahan tubrukan dari kapal. Artinya pada energi impak tersebut, struktur *platform* telah mengalami kegagalan baik dari kaki *steel leg* maupun *inner concrete pile*.

Tabel 4. 14 *Head-on Collision on Pile Leg*

Types of Vessel	Ship Displacement	Speed [knot]	Impact Energy [MJ]	Dent Depth		Absorbed Energy by Pile [MJ]	Pile Dent [m]
				δ (m)	δ/D		
Trawlers/ Small crew boats	200	2	0.12	0.02	1%	0	0.00
		4	0.47	0.04	2%	0.00	0.00
		6	1.05	0.07	4%	0.16	0.01
		8	1.86	0.10	6%	RUPTURE	RUPTURE
Passenger/ Ferry	850	2	0.49	0.04	2%	0.00	0.00
		4	1.98	0.10	6%	RUPTURE	RUPTURE
		6	4.45	0.17	11%	RUPTURE	RUPTURE
		8	7.92	0.25	16%	RUPTURE	RUPTURE
Tug	1,000	2	0.58	0.04	3%	0.00	0.00
		4	2.33	0.11	7%	1.79	0.06
		6	5.24	0.19	12%	RUPTURE	RUPTURE
		8	9.32	0.28	18%	RUPTURE	0.23
OSV	1,146	2	0.67	0.05	3%	0.00	0.00
		4	2.67	0.12	8%	RUPTURE	RUPTURE
		6	6.01	0.21	13%	RUPTURE	RUPTURE
		8	10.68	0.31	19%	RUPTURE	RUPTURE
Landing Craft Unit	4,000	2	2.33	0.11	7%	RUPTURE	RUPTURE
		4	9.32	0.28	18%	RUPTURE	RUPTURE
		6	20.96	0.48	30%	RUPTURE	RUPTURE
		8	37.26	0.71	44%	RUPTURE	RUPTURE
Multi Purpose Support Vessel	8,840	2	5.15	0.19	12%	RUPTURE	RUPTURE
		4	20.59	0.48	30%	RUPTURE	RUPTURE
		6	46.32	0.82	51%	RUPTURE	RUPTURE
		8	82.35	1.20	75%	RUPTURE	RUPTURE
Pipelaying Vessel	10,000	2	5.82	0.21	13%	RUPTURE	RUPTURE
		4	23.29	0.52	32%	RUPTURE	RUPTURE
		6	52.40	0.89	56%	RUPTURE	RUPTURE
		8	93.16	1.31	82%	RUPTURE	RUPTURE
General Cargo	14,500	2	8.44	0.26	16%	RUPTURE	RUPTURE
		4	33.77	0.66	42%	RUPTURE	RUPTURE
		6	75.98	1.14	71%	RUPTURE	RUPTURE
		8	135.08	1.68	105%	RUPTURE	RUPTURE
Condensate Tanker	17,010	2	9.90	0.29	18%	RUPTURE	RUPTURE
		4	39.61	0.74	46%	RUPTURE	RUPTURE
		6	89.13	1.27	79%	RUPTURE	RUPTURE
		8	158.46	1.86	116%	RUPTURE	RUPTURE
LNG Tanker	105,000	2	61.13	0.99	62%	RUPTURE	RUPTURE
		4	244.54	2.49	156%	RUPTURE	RUPTURE
		6	550.20	4.27	267%	RUPTURE	RUPTURE
		8	978.14	6.27	392%	RUPTURE	RUPTURE

Tabel 4. 15 *Drifting Collision on Pile Leg*

Types of Vessel	Ship Displacement	Speed [knot]	Impact Energy [MJ]	Dent Depth		Absorbed Energy by Pile [MJ]	Pile Dent [m]
				δ (m)	δ/D		
Trawlers/ Small crew boats	200	1	0.04	0.01	0%	0	0
		2	0.15	0.02	1%	0	0
		3	0.33	0.03	2%	0	0
		4	0.59	0.04	3%	0	0
Passenger/ Ferry	850	1	0.16	0.02	1%	0	0
		2	0.63	0.05	3%	0	0
		3	1.42	0.08	5%	0.55	0.03
		4	2.52	0.12	7%	RUPTURE	RUPTURE
Tug	1,000	1	0.19	0.02	1%	0	0
		2	0.74	0.05	3%	0	0
		3	1.67	0.09	6%	0.86	0.04
		4	2.96	0.13	8%	RUPTURE	RUPTURE
OSV	1,146	1	0.21	0.02	1%	0.00	0.00
		2	0.85	0.06	4%	0.02	0.00
		3	1.91	0.10	6%	RUPTURE	RUPTURE
		4	3.40	0.14	9%	RUPTURE	RUPTURE
Landing Craft Unit	4,000	1	0.74	0.05	3%	0.00	0.00
		2	2.96	0.13	8%	RUPTURE	RUPTURE
		3	6.67	0.23	14%	RUPTURE	RUPTURE
		4	11.86	0.33	21%	RUPTURE	RUPTURE
Multi Purpose Support Vessel	8,840	1	1.64	0.09	6%	0.82	0.03
		2	6.55	0.22	14%	RUPTURE	RUPTURE
		3	14.74	0.38	24%	RUPTURE	RUPTURE
		4	26.20	0.56	35%	RUPTURE	RUPTURE
General Cargo	10,000	1	1.85	0.10	6%	RUPTURE	RUPTURE
		2	7.41	0.24	15%	RUPTURE	RUPTURE
		3	16.67	0.42	26%	RUPTURE	RUPTURE
		4	29.64	0.61	38%	RUPTURE	RUPTURE
General Cargo	14,500	1	2.69	0.12	8%	RUPTURE	RUPTURE
		2	10.74	0.31	19%	RUPTURE	RUPTURE
		3	24.18	0.53	33%	RUPTURE	RUPTURE
		4	42.98	0.78	49%	RUPTURE	RUPTURE
Condensate Tanker	17,010	1	3.15	0.14	9%	RUPTURE	RUPTURE
		2	12.60	0.34	22%	RUPTURE	RUPTURE
		3	28.36	0.59	37%	RUPTURE	RUPTURE
		4	50.42	0.87	54%	RUPTURE	RUPTURE
LNG Tanker	105,000	1	19.45	0.46	29%	RUPTURE	RUPTURE
		2	77.81	1.16	72%	RUPTURE	RUPTURE
		3	175.06	1.99	124%	RUPTURE	RUPTURE
		4	311.23	2.92	183%	RUPTURE	RUPTURE

4.4.2. Impak Tubrukan pada *Platform Brace*

Platform brace merupakan yang juga memiliki peran penting, yaitu mendistribusikan beban dinamis kepada kaki-kaki *platform*. Oleh sebab itu, analisa dampak tubrukan harus ditekankan pada *platform*

brace Energi impact dihitung menggunakan persamaan 2.1.

$$Ek = k \frac{1}{2} mv^2$$

$$Ek = 1.1 \times \frac{1}{2} \times 105.000 \text{ ton} \times (8 \text{ knot})^2$$

$$Ek = 978 \text{ MJ}$$

Berdasarkan persamaan 2.6, maka dapat dihitung seberapa dalam penyok yang terjadi. Perhitungan ini diverifikasi pula oleh persamaan 2.2 dan persamaan 2.4. Hasil yang mirip diberikan oleh persamaan 2.2 dan persamaan 2.6. Berdasarkan hasil studi ini, energi tumbukan yang terserap *platform* adalah sekitar 37%, sementara sisanya dikembalikan ke kapal dan ke lingkungan.

$$E_{\delta} = Ek \cdot 37\% = 14 \cdot m_p \cdot \frac{\delta_d^{1.5}}{\sqrt{t}}$$

$$\delta_d = \left(978 \cdot 0,37 \cdot \sqrt{0,025} / 14 \times 70 \text{ KPa} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\delta_d = 15 \text{ meter}$$

$$\delta_d / D = 1975\%$$

Tabel 4. 16 *Head-on Collision on Brace Structure*

Types of Vessel	Ship Displacement	Speed [knot]	Impact Energy [MJ]	Dent Depth	
				δ (m)	δ/D
Trawlers/ Small crew boats	200	2	0.12	0.04	5%
		4	0.47	0.09	12%
		6	1.05	0.16	21%
		8	1.86	0.23	30%
Passenger/ Ferry	850	2	0.49	0.10	13%
		4	1.98	0.24	32%
		6	4.45	0.41	54%
		8	7.92	0.61	80%
Tug	1,000	2	0.58	0.11	14%
		4	2.33	0.27	35%
		6	5.24	0.46	60%
		8	9.32	0.68	89%
OSV	1,146	2	0.67	0.12	15%
		4	2.67	0.29	39%
		6	6.01	0.50	66%
		8	10.68	0.74	97%
Landing Craft Unit	4,000	2	2.33	0.27	35%
		4	9.32	0.68	89%
		6	20.96	1.16	152%
		8	37.26	1.70	224%
Multi Purpose Support Vessel	8,840	2	5.15	0.46	60%
		4	20.59	1.15	151%
		6	46.32	1.97	259%
		8	82.35	2.89	379%
Pipelaying Vessel	10,000	2	5.82	0.49	65%
		4	23.29	1.25	163%
		6	52.40	2.14	281%
		8	93.16	3.14	412%
General Cargo	14,500	2	8.44	0.63	83%
		4	33.77	1.60	209%
		6	75.98	2.74	360%
		8	135.08	4.02	528%
Condensate Tanker	17,010	2	9.90	0.70	92%
		4	39.61	1.78	233%
		6	89.13	3.05	400%
		8	158.46	4.47	587%
LNG Tanker	105,000	2	61.13	2.37	311%
		4	244.54	5.97	784%
		6	550.20	10.26	1346%
		8	978.14	15.05	1975%

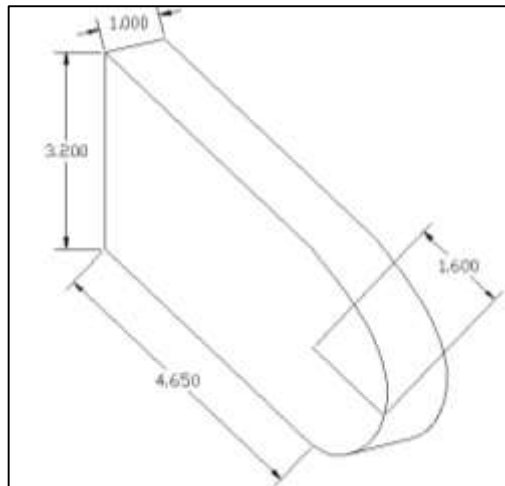
4.4.3. Analisa *Finite Element Method*

Metode elemen hingga (*finite element method*) adalah metode numerik yang digunakan untuk mencari solusi dari sebuah persamaan diferensial sebuah kondisi batas (*boundary condition*). Simulasi metode elemen hingga menggunakan logika persamaan

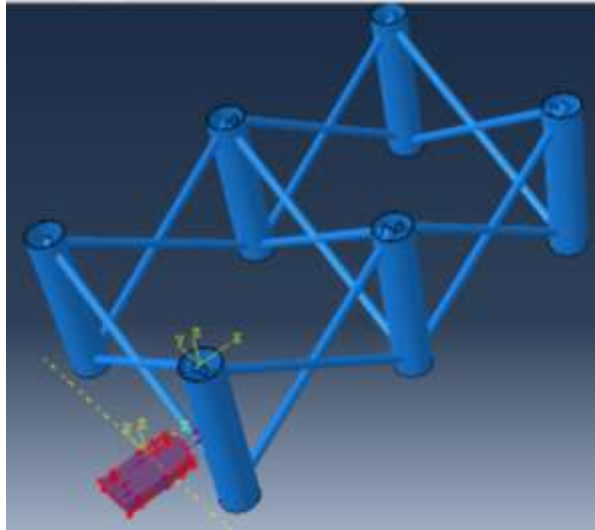
diferensial parsial, yang mana membagi sebuah sistem menjadi banyak elemen.

Dalam pemodelan tubrukan kapal dan *platform*, struktur *platform* dimodelkan sebagaimana ukuran aslinya. Sebuah model struktur dengan enam kaki dan *x-braces structure* dibuat dalam simulasi ini.

Obyek kapal yang bertubrukan diwakilkan dalam sebuah model sederhana dengan bentuk, berat jenis dan kecepatan tertentu. Obyek tersebut memiliki berat jenis baja yaitu 7850 kg/m^3 .



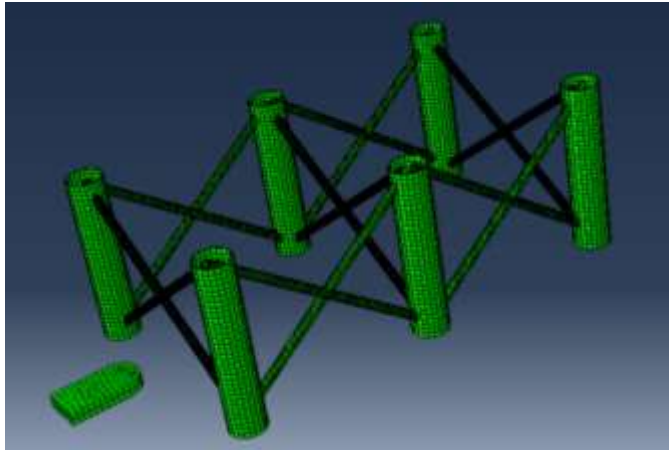
Gambar 4. 20 *Model of colliding object*



Gambar 4. 21 Pemodelan tubrukan

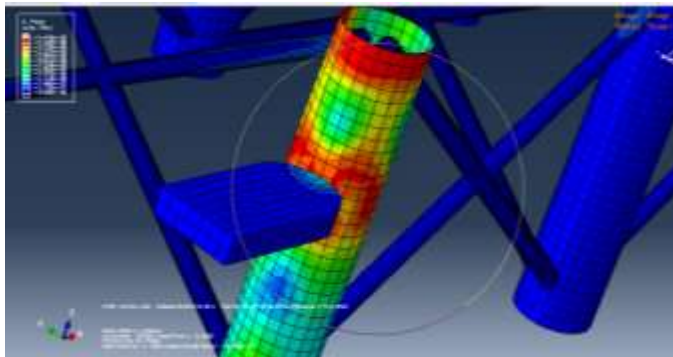
Metode elemen hingga menggunakan persamaan diferensial parsial, karena itu metode elemen hingga membagi sebuah sistem atau obyek yang dianalisa menjadi banyak elemen berukuran kecil. Proses pembagian elemen ini disebut dengan *meshing*.

Ukuran sebuah *mesh* menentukan akurasi dalam sebuah simulasi. Semakin kecil ukuran *mesh*, semakin akurat pula hasilnya, namun semakin lama pula waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan sebuah simulasi.

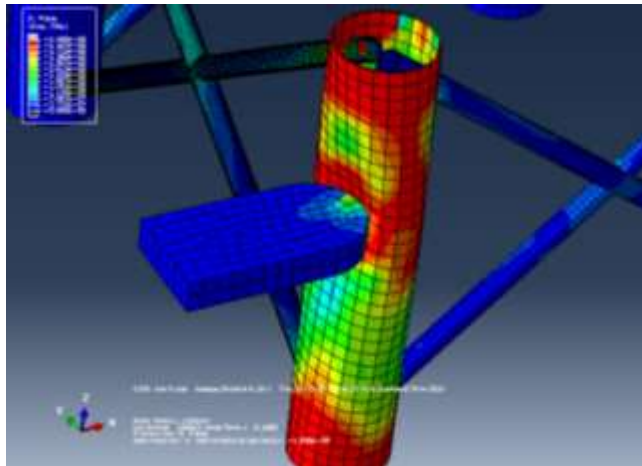


Gambar 4. 22 Proses *meshing*

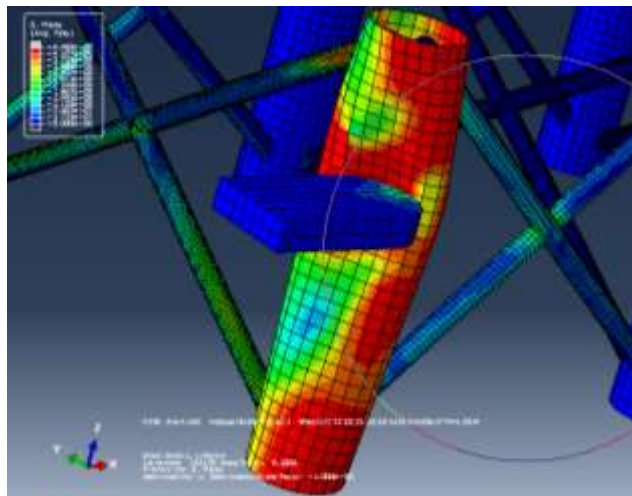
Dalam pemodelan menggunakan simulasi, beberapa nilai energi impact divariasikan untuk mendapatkan tren seberapa besar energi yang terserap oleh struktur. Hasil pemodelan impact tubrukan dapat dilihat pada Gambar berikut.



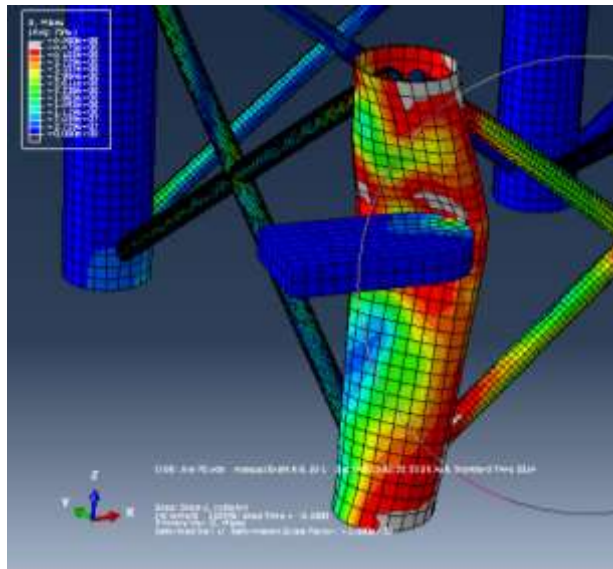
Gambar 4. 23 Model impact energi 7.42 MJ



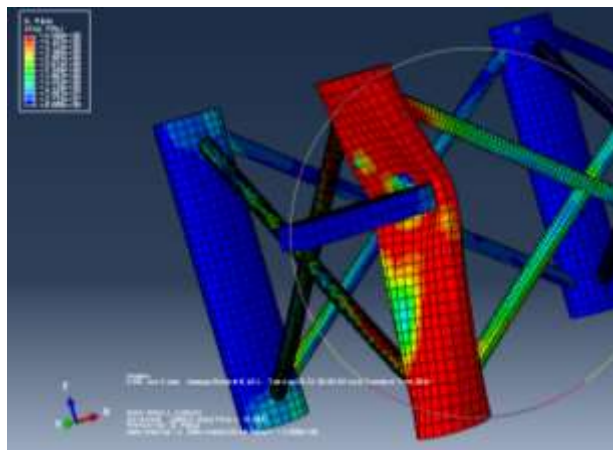
Gambar 4. 24 Model impak energi 66.77 MJ



Gambar 4. 25 Model impak energi 185.47 MJ

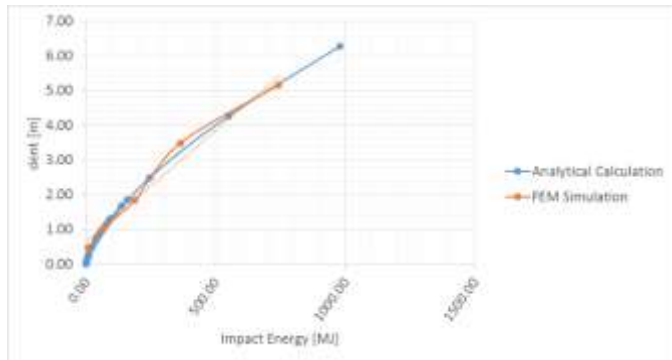


Gambar 4. 26 Model impak energi 363.52 MJ



Gambar 4. 27 Model impak energi 741.87 MJ

Hasil pemodelan tersebut dibandingkan dengan hasil perhitungan empiris. Dari grafik hasil yang menunjukkan penetrasi energi impact terhadap struktur, dapat disimpulkan energi yang dapat terserap oleh struktur adalah 37% dari total energi impact. Berdasarkan Spouge, 1999, impact energi yang terserap oleh *platform* berkisar antara 32% - 40%



Gambar 4. 28 Grafik impact energy vs *dent* pada *platform leg*

BAB V KESIMPULAN

Dari hasil analisa diatas, dapat dilihat bahwa dari sisi *probability of occurance*, hasil analisa frekuensi menunjukkan bahwa untuk semua analisa frekuensi, nilai kemungkinan tubrukan masih berada pada tingkat aman. Namun, dari hasil perhitungan energi impact yang dikenakan kepada *platform* diketahui bahwa struktur tidak akan mampu menahan energi impact untuk sebagian besar skenario tubrukan. Dalam penjelasan yang lebih singkat:

- Dari sisi kemungkinan tubrukan, masih dinilai aman karena nilai *annual frequency* kurang dari 1
- Dari sisi konsekuensi, bagaimanapun struktur *platform* memang tidak didisain untuk menahan beban tubrukan

Nilai probabilitas tubrukan per skenario dihitung jumlah *traffic* kapal. Nilai tersebut dapat dilihat di Tabel berikut.

Tabel 5. 1 *Collision probability*

Probability of Collision	
Head on Collision for External Vessel - Scenario 1	1.34E-04
Head on Collision for External Vessel - Scenario 2	6.58E-05
Head on Collision for Field Vessel - Scenario 1	1.25E-04
Head on Collision for Field Vessel - Scenario 2	1.95E-04
Drifting Collision for External Vessel - Scenario 1	1.02E-04
Drifting Collision for External Vessel - Scenario 2	1.08E-04
Drifting Collision for Internal Vessel - Scenario 1	2.05E-04
Drifting Collision for Internal Vessel - Scenario 2	1.78E-04

Tabel 5. 2 *Summary of risk matrix results*

Head on Collision for Field Vessel - Scenario 1		
A.	HSE Impact	Risk Level 4
B.	Environment Impact	Risk Level 4
C.	Bussiness Impact	Risk Level 7
Head on Collision for External Vessel - Scenario 2		
A.	HSE Impact	Risk Level 3
B.	Environment Impact	Risk Level 3
C.	Bussiness Impact	Risk Level 6
Head on Collision for Field Vessel - Scenario 1		
A.	HSE Impact	Risk Level 4
B.	Environment Impact	Risk Level 4
C.	Bussiness Impact	Risk Level 7
Head on Collision for Field Vessel - Scenario 2		
A.	HSE Impact	Risk Level 4
B.	Environment Impact	Risk Level 4
C.	Bussiness Impact	Risk Level 7
Drifting Collision for External Vessel - Scenario 1		
A.	HSE Impact	Risk Level 4
B.	Environment Impact	Risk Level 4
C.	Bussiness Impact	Risk Level 7
Drifting Collision for External Vessel - Scenario 2		
A.	HSE Impact	Risk Level 4
B.	Environment Impact	Risk Level 4
C.	Bussiness Impact	Risk Level 7
Drifting Collision for Internal Vessel - Scenario 1		
A.	HSE Impact	Risk Level 4
B.	Environment Impact	Risk Level 4
C.	Bussiness Impact	Risk Level 7
Drifting Collision for Internal Vessel - Scenario 2		
A.	HSE Impact	Risk Level 4
B.	Environment Impact	Risk Level 4
C.	Bussiness Impact	Risk Level 7

Detail hasil penilaian menggunakan *risk matrix* dari KKKS yang bersangkutan dapat dilihat pada lampiran B. Beberapa upaya mitigasi untuk mengurangi risiko dapat dilakukan sebagaimana uraian di subbab berikut.

5.1. Peletakan *Restricted Area Buoys*

Peletakan bui tanda daerah terlarang dapat dilakukan. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 25 Tahun 2011 Tentang Sarana Bantu Navigasi Pelayaran pasal 36 ayat 3 sebagai berikut:

“...Zona keamanan dan keselamatan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) terdiri atas...”:

- a. zona terlarang pada area 500 (lima ratus) meter dihitung dari sisi terluar Sarana Bantu Navigasi – Pelayaran atau bangunan/instalasi; dan*
- b. zona terbatas pada area 1.250 (seribu dua ratus lima puluh) meter dihitung dari sisi terluar zona terlarang atau 1.750 (seribu tujuh ratus lima puluh) meter dari titik terluar Sarana Bantu Navigasi - Pelayaran atau bangunan /instalasi...”*

Maka dari itu, disarankan pemberian bui tanda daerah terlarang dengan koordinat sebagai berikut:

Koordinat 1

- 2° 21' 29.7" S
- 133° 4' 48.0" E

Koordinat 2

- 2° 21' 6.7" S
- 133° 4' 48.0" E

Koordinat 3

- $2^{\circ}21' 6.7''$ S
- $133^{\circ} 5' 11.0''$ E

Koordinat 4

- $2^{\circ}21' 29.7''$ S
- $133^{\circ} 5' 11.0''$ E

5.2. Platform Radar Beacon Transponders

Radar beacon aktif dipicu oleh transmisi sinyal kapal yang mendekat. Kemudian, pada jarak tertentu tersebut *radar beacon* akan mengirimkan sinyal balik ke kapal

Setiap *radar beacon* memiliki kode identitas khusus yang akan diterima oleh kapal. Sistem seperti sangatlah baik dan sangat berguna dalam praktik navigasi kapal, khususnya pada saat cuaca buruk. Setiap titik yang terbaca oleh radar secara tepat merupakan hal yang penting dalam praktik navigasi kapal.

1. 24 jam pengawasan penuh harus dilakukan, meskipun sebatas informasi dari radar. Pada saat darurat, kapal jaga akan langsung menuju lokasi kejadian.
2. Kapal jaga berada pada jarak 600-900 meter dari lokasi *platform*.
3. Kemampuan bermanuver kapal jaga sangat penting. Dalam tugasnya sebagai kapal jaga, manuverabilitas sangat penting saat pekerjaan penyelamatan korban yang jatuh ke laut.



Gambar 5. 1 *Radar beacon*
(Sumber: en.wikipedia.org/wiki/Racon)

4. Nahkoda kapal jaga harus selalu dapat menghubungi bantuan terdekat.
5. Kapal jaga harus memiliki dua lampu sorot yang dapat menjangkau pengelihatan 360 derajat.

Tabel 5. 3 SOP Standby Platform Vessel

<i>Distance/time</i>	<i>Actions</i>
<i>12 nm – 60'</i>	<i>- Vessel detected</i>
<i>10 nm – 50'</i>	<i>- Vessel contacted by VHF radio by SBV - Platform should be given early warning by SBV - SBV prepares to move towards vessel</i>
<i>8 nm – 40'</i>	<i>- Attempts to contact vessel by VHF radio continue - SBV uses light signal</i>
<i>6 nm – 30'</i>	<i>- SBV continues to try make contact with radio, continues to use light signals and also sound or pyrotechnics</i>
<i>4 nm – 20'</i>	<i>- SBV is now alongside the rogue vessel and continues to use lights, sound, and radio</i>
<i>2 nm – 10'</i>	<i>- If there is no response by this stage, something is seriously wrong. Attempts to make contact continue. - SBV must decide whether to stand-off or nudge the incoming vessel, also considering the legality and the risks of nudging to the SBV crew</i>
<i>1 nm – 5'</i>	<i>- SBV proceeds to either nudge vessel or makes ready to accept survivors</i>



Gambar 5. 2 *Standby platform vessel*
(Sumber: <https://www.flickr.com/photos>)

5.3. Perbaruan Peta Navigasi Laut Teluk Bintuni

Salah satu upaya mitigasi yang tepat adalah memperbarui peta navigasi yang sudah ada. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 25 Tahun 2011 Tentang Sarana Bantu Navigasi Pelayaran pasal 36 ayat 3, dapat dilihat pada Gambar dibawah, garis yang menunjukkan daerah terbatas dan daerah terlarang *platform* dan pipa



Gambar 5. 3 *Update peta navigasi*

SEVERITY	HEALTH AND SAFETY	ENVIRONMENTAL	Severity Level	Likelihood of Risk Event							
				1	2	3	4	5	6	7	8
				A similar event has not yet occurred in our industry and would only be a remote possibility	A similar event has not yet occurred in our industry	Similar event has occurred somewhere in our industry	Similar event has occurred somewhere within the Group	Similar event has occurred, or is likely to occur, within the the lifetime of 10 similat facilities	Likely to occur once or twice in the facility lifetime	Event likely to occur several times in the facility lifetime	Common occurrence (at least annually) at the facility
A Catastrophic health/ safety incident causing very widespread fatalities within or outside a facility. The potential for 100 or more fatalities (or onset of life threatening health effects) shall always be classified at this level.	Comparable to the most catastrophic health/ safety incidents ever seen in industry. The potential for 100 or more fatalities (or onset of life threatening health effects) shall always be classified at this level.	<ul style="list-style-type: none"> Future impact, e.g., unintended release, with widespread damage to any environment and which remains in an "unsatisfactory" state for a period > 5 years. Future impact with extensive damage to a sensitive environment and which remains in an "unsatisfactory" state for a period > 5 years. Future impact with widespread damage to a sensitive environment and which can only be restored to a "satisfactory"/agreed state in a period of more than 1 and up to 5 years. 	A	8	9	10	11	12	13	14	15
	Catastrophic health/ safety incident causing very widespread fatalities within or outside a facility. The potential for 50 or more fatalities (or onset of life threatening health effects) shall always be classified at this level.	<ul style="list-style-type: none"> Future impact with extensive damage to a non-sensitive environment and which remains in an "unsatisfactory" state for a period > 5 years. Future impact with extensive damage to a sensitive environment and which can only be restored to a "satisfactory"/agreed state in a period of more than 1 and up to 5 years. Future impact with widespread damage to a non-sensitive environment and which can only be restored to a "satisfactory"/agreed state in a period of more than 1 and up to 5 years. Future impact with widespread damage to a sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of around 1 year. 	B	7	8	9	10	11	12	13	14
	Catastrophic health/ safety incident causing widespread fatalities within or outside a facility. The potential for 10 or more fatalities (or onset of life threatening health effects) shall always be classified at this level.	<ul style="list-style-type: none"> Future impact with extensive damage to a non-sensitive environment and which can only be restored to a "satisfactory"/agreed state in a period of more than 1 and up to 5 years. Future impact with widespread damage to a non-sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of around 1 year. Future impact with extensive damage to a sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of around 1 year. Future impact with widespread damage to a sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of months. 	C	6	7	8	9	10	11	12	13
	Very major health/ safety incident The potential for 3 or more fatalities (or onset of life threatening health effects) shall always be classified at this level. 30 or more injuries or health effects, either permanent or requiring hospital treatment for more than 24 hours.	<ul style="list-style-type: none"> Future impact with extensive damage to a non-sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of around 1 year. Future impact with localized damage to a sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of around 1 year. Future impact with widespread damage to a non-sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of months. Future impact with extensive damage to a sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of months. 	D	5	6	7	8	9	10	11	12
E Major health/ safety incident 1 or 2 fatalities, acute or chronic, actual or alleged. 10 or more injuries or health effects, either permanent or requiring hospital treatment for more than 24 hours.	High impact health/ safety incident Permanent partial disability(ies) Several non-permanent injuries or health impacts. Days Away From Work Case (DAFWC)	<ul style="list-style-type: none"> Future impact with localized damage to a non-sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of months. Future impact with immediate area damage to a sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of months. Future impact with extensive damage to a non-sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of days or weeks. Future impact with localized damage to a sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of days or weeks. 	F	3	4	5	6	7	8	9	10
	Medium impact health/ safety incident Single or multiple recordable injury or health effects from common source/event.	<ul style="list-style-type: none"> Future impact with immediate area damage to a non-sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of months. Future impact with localized damage to a non-sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of days or weeks. Future impact with immediate area damage to a sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of days or weeks. 	G	2	3	4	5	6	7	8	9
H Low impact health/ safety incident First aid Single or multiple over-exposures causing noticeable irritation but no actual health effects	Low impact health/ safety incident First aid Single or multiple over-exposures causing noticeable irritation but no actual health effects	<ul style="list-style-type: none"> Future impact with immediate area damage to a non-sensitive environment and which can be restored to an equivalent capability in a period of days or weeks. 	H	1	2	3	4	5	6	7	8
			Frequency	$10^{-6}/\text{yr}$ or lower	$> 10^{-6}/\text{yr}$ to $10^{-5}/\text{yr}$	$> 10^{-5}/\text{yr}$ to $10^{-4}/\text{yr}$	$> 10^{-4}/\text{yr}$ to $10^{-3}/\text{yr}$	$> 10^{-3}/\text{yr}$ to $10^{-2}/\text{yr}$	$> 10^{-2}/\text{yr}$ to $10^{-1}/\text{yr}$	$> 10^{-1}/\text{yr}$ to 1/yr	<1/yr
			Probability	10^{-6} or lower	$> 10^{-6}$ to 10^{-5}	$> 10^{-5}$ to 10^{-4}	$> 10^{-4}$ to 10^{-3}	$> 10^{-3}$ to 10^{-2}	> 0.01 to 0.1	> 0.1 to 0.25	> 0.25

DAFTAR PUSTAKA

- API RP 2A-WSD.2000. *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design*. American Petroleum Institute: Washington D.C., USA
- API RP 14J.2001. *Recommended Practice for Design and Hazard Analysis for Offshore Production Facilities*. American Petroleum Institute: Washington D.C., USA
- Dalhoff, Peter. *Ship Collision, Risk Analysis-Emergency Systems-Collision Dynamic*. Hambur University of Technology, Germany
- DNV-RP-F107.2010. *Risk Assessment of Pipeline Protection*. Det Norske Veritas
- DNV-OS-C101.2011. *Design of Offshore Steel Structures General (LRFD Method)*. Det Norske Veritas
- Ellinas, Charles P.1984. *Ultimate Strength of Damaged Tubular Members*. Journal of Structural Engineering: London, England
- Health and Safety Executive.2004. *Ship Collision and Capacity of Brace Members of Fixed Steel Offshore Platforms*.Health and Safety Executive: Zomervlinderberm, Netherlands
- Hester dan Harrison.1998.*Risk Assessment and Risk Management*. Redwood Books: Manchester, United Kingdom

- Motora, Seizo. *Proposed Maneuverability Indices as a Measure of The Steering Qualities of Ships*. 1960
- Popov, Egor. P.1983. *Mechanics of Materials*. McGraw-Hill International student edition. New York.
- Reliability Prediction of Electronic Equipment*. Department of Defense USA. 1991.
- R.L.Brockenbrough.1999. *Structural Steel Designer's Handbook*. McGraw-Hill, Inc: New York, USA.
- Spouge, John.1999. *A Guide To Quantitative Risk Assessment for Offshore*. CMPT: DNV Technica.
- UKOOA. *Guidelines for Ship/Installation Collision Avoidance*. 2003
- Visser Consultancy. *Ship collision and capacity of brace members of fixed steel offshore platform*. 2004
- Young, R. Benjamin. 2003. *Reliability Transform Method*. A Thesis submitted to Virginia Polytechnic Institute. 2003
- Zhang, Shengming.1999. *The Mechanics of Ship Collisions*. Department of Naval Architecture and Offshore Engineering: Technical University of Denmark



Penulis, Muhammad Habib Chusnul Fikri dilahirkan di Rengat pada tanggal 20 Oktober 1993 yang merupakan putra pertama dari pasangan Mohamad Djunaidi dan Ernawaty. Pada tahun 2011 menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK – ITS dengan NRP 4211100043 melalui jalur SNMPTN Reguler. Saat menjalani pendidikan di ITS, bidang *Reliability,*

Availability, Maintainability and Safety (RAMS) yang menjadi fokus bidang keahlian yang ditekuni dengan menjadi member dan asisten dosen yang membawahi Laboratorium Keandalan dan Keselamatan. Dengan menjadi asisten dosen, penulis terlibat dengan berbagai proyek dan banyak mengambil pelajaran serta ilmu pengetahuan yang tidak didapatkan di kelas. Pengetahuan praktis yang banyak berkaitan dengan instalasi lepas pantai. Penulis menyelesaikan studi S1 ini dalam waktu 7 semester dengan predikat *cumlaude*. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS dan Laboratorium Keandalan dan Keselamatan merupakan tempat yang luar biasa bagi penulis untuk mengembangkan ilmu pengetahuan dan karakter demi kejayaan maritim Indonesia.

Muhammad Habib Chusnul Fikri

mhabibcf92@gmail.com